



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Fabio Ribeiro Gondim

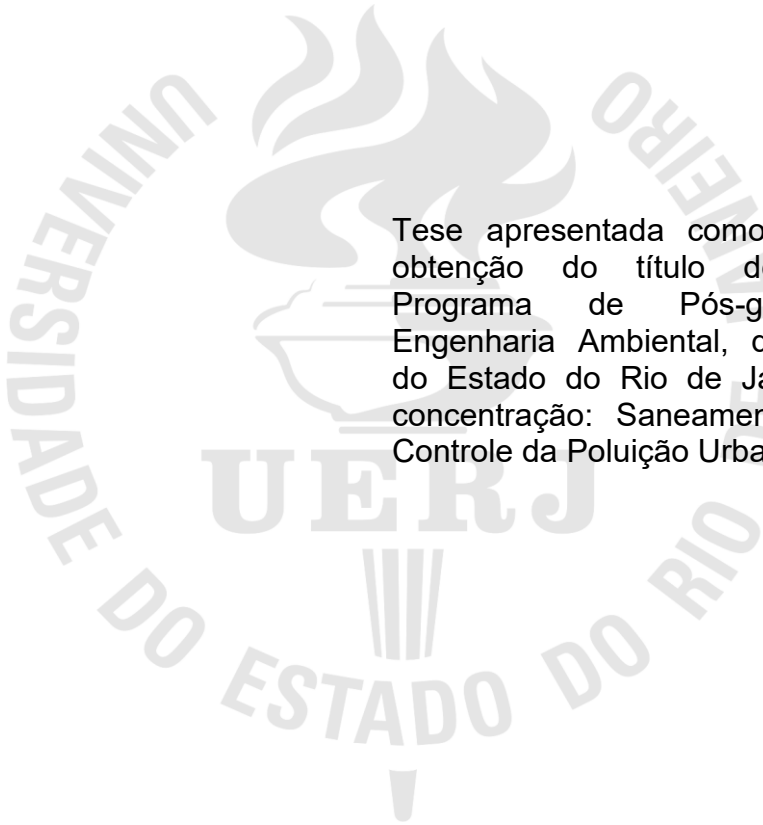
**Jardins de chuva: uma análise teórica e experimental para a
implementação no Brasil**

Rio de Janeiro

2024

Fabio Ribeiro Gondim

**Jardins de chuva: uma análise teórica e experimental para a implementação no
Brasil**



Tese apresentada como requisito para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental - Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Jr.

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Obraczka

Rio de Janeiro

2024

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

G637 Gondim, Fabio Ribeiro.
Jardins de chuva: uma análise teórica e experimental para a
implementação no Brasil / Fabio Ribeiro Gondim. – 2024.
190 f.

Orientador: Alfredo Akira Ohnuma Junior.

Coorientador: Marcelo Obraczka.

Tese (Doutorado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro,
Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental - Teses. 2. Jardins - Projetos - Teses. 3.
Construção sustentável - Teses. 4. Escoamento urbano - Teses. 5.
Águas pluviais - Teses. I. Ohnuma Junior, Alfredo Akira. II. Obraczka,
Marcelo. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de
Engenharia. IV. Título.

CDU 696.12

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial
desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Fabio Ribeiro Gondim

**Jardins de chuva: uma análise teórica e experimental para a implementação no
Brasil**

Tese apresentada como requisito para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental - Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Aprovada em 30 de setembro de 2024

Banca examinadora:

Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Jr. (Orientador)
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. Dr. Marcelo Obraczka (Coorientador)
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof.^a Dra. Bruna Peres Battemarco
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof.^a Dra. Luciana Fernandes Guimarães
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof.^a Dra. Flávia Teixeira Braga
Universidade Federal Fluminense

Prof.^a Dra. Viviane Japiassú Viana

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Wenceslau Geraldes Teixeira

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Rio de Janeiro

2024

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho ao meu filho, Bernardo, e à minha esposa, Maíra.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer inicialmente aos colegas da UERJ que participaram comigo ao longo desses anos, em especial aos alunos André Vidal, Vinícius Braga, Alex Santos, Paulo Alan Monteiro, Michelle Dias e Dulciléia Rocha. Nos momentos mais difíceis da pandemia, a amizade dos colegas Fabrício Cunha e Fernanda Vissirini foi fundamental, com reuniões virtuais para discutirmos nossos projetos e apoiarmos uns aos outros.

Aos meus amigos de longa data, e doutores, André Resende Senna e Verônica Maioli, que me auxiliaram desde o início com conselhos, conhecimento e incentivo.

Aos professores do DEAMB, em especial aos doutores Eduardo Martins, Alena Netto, Marcia Gomes, Rosa Johnsson, Wenceslau Teixeira e Gandhi Giordano, pela troca de conhecimento e inspiração.

Ao meu orientador, professor Alfredo Akira Ohnuma Jr., agradeço primeiramente por ter aceitado esta orientação e, desde o início, me recebido com disposição para discutirmos propostas inovadoras. Levarei comigo o exemplo de cientista, amante da matemática e professor dedicado, que sempre se empenhou nas revisões e discussões do meu trabalho. Sou profundamente grato por tudo.

Ao meu coorientador Dr. Marcelo Obraczka, pelas ótimas contribuições, e ao me apresentar o Colégio Eliezer Max, onde desenvolvemos a pesquisa, a quem aproveito para agradecer nas pessoas do Kleber, sempre atencioso e prestativo, e ao diretor Bruno, pela abertura do colégio.

À minha família inteira, que me apoiou ainda mais neste período, me auxiliando ainda com meu filho, para que eu pudesse me dedicar aos estudos. Em especial aos meus pais, Mario e Sonia, a minha sogra Léa, que ainda revisou e apoiou o meu trabalho, e a minha irmã Monica e família, que muito ajudaram. *In memoriam* ao meu sogro Luciano, grande entusiasta de minha qualificação e falecido por COVID, e aos meus avós Telmo e Irene e tios Carlos e Telminho, que teriam se orgulhado bastante de mim.

Em especial, a minha esposa Maíra, pela parceria na vida, não só por compreender meus desafios, mas por sempre me incentivar a superá-los. Além de me auxiliar com as revisões do trabalho e conselhos fundamentais. Uma inspiração

de sabedoria e profissionalismo e, acima de tudo, uma mãe fabulosa para o nosso querido Bernardo, que, juntamente com ela, são as grandes alegrias da minha vida.

RESUMO

GONDIM, F.R. **Jardins de chuva**: uma análise teórica e experimental para a implementação no Brasil. 2024. 190 p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

A infraestrutura verde Jardim de Chuva visa reduzir os impactos da urbanização sobre as águas urbanas e adaptar as cidades às mudanças climáticas. O objetivo desta tese foi avaliar sua aplicabilidade nas cidades brasileiras. O trabalho foi subdividido em três capítulos. No primeiro capítulo, foi realizado um referencial teórico da funcionalidade do jardim de chuva, através de uma revisão sistemática. No segundo capítulo, foi desenvolvido um referencial prático sobre as metodologias utilizadas para analisar a funcionalidade do jardim, por meio da análise de um jardim de chuva instalado na cidade do Rio de Janeiro, RJ. Utilizaram-se o método racional, um linígrafo e modelagem computacional com o Hydrus-1D para medir a capacidade de retenção de água da chuva. Além disso, foram coletadas amostras da precipitação direta, da primeira água da chuva e da água que passou pelo jardim de chuva, para avaliar a capacidade de retenção de poluentes. No terceiro capítulo, foi realizada uma análise propositiva para entender as dificuldades na disseminação da técnica no Brasil e propor soluções. Foram aplicados questionários a especialistas, além de uma pesquisa sobre legislações e programas nacionais e internacionais relacionados à divulgação da técnica. Os trabalhos encontrados foram divididos em cinco temas principais: controle de poluição, melhoria operacional, capacidade de retenção de água, custos de instalação e fatores socioambientais. A avaliação da eficiência e os custos de instalação e manutenção são os temas mais atuais. O jardim de chuva não apresentou extravasamento durante o período estudado, e, embora ocupasse 11% da área de captação de água, seria funcional com uma área equivalente a 6,3% dos telhados. Em relação à remoção de poluentes, houve redução de 73% de coliformes fecais, 39% nos sólidos totais dissolvidos e 12,1% de carbono orgânico total da água do escoamento. Quanto à popularidade das infraestruturas verdes, os telhados verdes são os mais conhecidos, e o desconhecimento, juntamente com a falta de um padrão construtivo, parece ser um grande entrave à disseminação da técnica. As legislações ainda não contemplam o jardim de chuva, e a fragmentação na governança da gestão dos rios e drenagens urbanas também se apresentou como uma barreira no Brasil. O jardim de chuva pode ser uma ferramenta importante para a adaptação das cidades às mudanças climáticas e para a revitalização dos rios urbanos, sendo necessária uma maior divulgação da técnica, capacitação dos agentes envolvidos, implementação de instrumentos legais e incentivos públicos para a instalação das infraestruturas verdes pelas populações urbanas.

Palavras-chave: Jardim de chuva; Infraestrutura verde; Rios urbanos, Drenagem urbana.

ABSTRACT

GONDIM, F.R. **Rain Gardens**: a theoretical and experimental analysis for implementation in Brazil. 2024. 190 p. Doctoral Thesis (PhD in Environmental Engineering) – Engineering Faculty, University of the State of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

The green infrastructure Rain Garden aims to reduce the impacts of urbanization on urban waters and adapt cities to climate change. This thesis aimed to evaluate its applicability in Brazilian cities. The work was subdivided into three chapters. In the first chapter, a theoretical framework of the rain garden's functionality was developed through a systematic review. In the second chapter, a practical framework was conducted to analyze the methodologies used to assess the garden's functionality by examining a rain garden installed in the city of Rio de Janeiro, RJ. The rational method, a pluviograph, and computational modeling using Hydrus-1D were employed to measure the rainwater retention capacity. Additionally, samples were collected from direct precipitation, first flush water, and water that passed through the rain garden to evaluate its pollutant retention capacity. In the third chapter, a propositional analysis was performed to understand the challenges in disseminating the technique in Brazil and propose solutions. Questionnaires were administered to specialists, and research on national and international legislation and programs related to the dissemination of the technique was conducted. The studies found were categorized into five main topics: pollution control, operational improvement, water retention capacity, installation costs, and socio-environmental factors. The assessment of efficiency and the costs of installation and maintenance are the most current topics. The rain garden did not overflow during the study period, and although it occupied 11% of the water catchment area, it would still be functional with an area equivalent to 6.3% of the rooftops. Regarding pollutant removal, there was a reduction of 73% in fecal coliforms, 39% in total dissolved solids, and 12.1% in total organic carbon in runoff water. In terms of the popularity of green infrastructure, green roofs are the most well-known, and the lack of awareness, along with the absence of a construction standard, appears to be a significant barrier to the dissemination of the rain garden technique. Current legislation does not yet cover rain gardens, and fragmented governance in the management of urban rivers and drainage systems also emerged as a barrier in Brazil. Rain gardens can be an essential tool for adapting cities to climate change and revitalizing urban rivers. Greater dissemination of the technique, capacity building for involved stakeholders, implementation of legal instruments, and public incentives for the installation of green infrastructure by urban populations are necessary.

Keywords: Rain garden; Green infrastructure; Urban rivers; Urban drainage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Avaliação conceitual entre Infraestrutura cinza e Infraestrutura verde.....	21
Figura 2 – (a) - Foto aérea da cidade esponja de Qian'an, na província de Hebei, no norte da China, projeto elaborado pelo instituto de design Turenscape, que se baseia na relação da terra com o homem, do arquiteto e paisagista Kongjian Yu. (b) - foto de estacionamento na cidade com largos canteiros vegetados e pisos permeáveis.....	22
Figura 3 - Soluções adotadas na cidade de Roterdã, Holanda. a – área de reservação de água da chuva. b – área de passagem de bonde com pavimento permeável.	24
Figura 4 - Dois tipos de pavimentos permeáveis, um construído através da retirada de materiais finos, como areias e outro, com área interna vazada para plantio de vegetação.....	28
Figura 5 - Jardins de chuva, onde a condução da água ocorre, para canteiros com árvores plantadas ou com plantas arbustivas e herbáceas.....	29
Figura 6 - Exemplo de telhado verde implantado no Brasil e composição de camadas da estrutura padrão.	30
Figura 7 - Rua Gonçalo de Carvalho, no bairro Independência, na cidade de Porto Alegre/RS.....	31
Figura 8 - Arborização urbana com canteiros utilizados para armazenamento de água da chuva, no bairro de Botafogo, Rio de Janeiro, RJ.	32
Figura 9 - Tanque de armazenamento de água da chuva utilizado pela equipe do laboratório de água da chuva, no colégio de Aplicação da UERJ, bairro da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.	34
Figura 10 - Quadra esportiva com função de reservatório de água da chuva durante eventos pluviométricos intensos, Roterdã, Holanda.	35
Figura 11 - Fluxograma de estruturação da tese: Jardim de Chuva, uma análise teórica e prática para a implementação no Brasil.	39
Figura 12 - Análise de Similitude gerado pelo programa IRAMUTEQ que auxiliou no agrupamento dos artigos nos 5 (cinco) temas definidos.	43
Figura 13 - Distribuição de subgrupos em porcentagem de publicações selecionadas na revisão sistemática.....	44

Figura 14 - Quantidade de publicações sobre o tema Jardim de Chuva pelos 4 países que mais publicaram entre os anos pesquisados, em porcentagem.	45
Figura 15 - Localização do Colégio Eliezer Max, bacia do rio Carioca, cidade do Rio de Janeiro.	62
Figura 16 - Área do colégio Eliezer Max, em Laranjeiras, Rio de Janeiro, com a indicação das principais edificações existentes.	63
Figura 17 - Pluviômetro instalado no Colégio Eliezer Max.	64
Figura 18 - Análise Dupla Massa de Consistência de Dados Acumulados Mensais da precipitação Observada na Estação de Laranjeiras e do Pluviômetro do Colégio Eliezer Max.	65
Figura 19 - Valores anuais de precipitação para a estação Laranjeiras entre os anos de 2001 e 2023.	66
Figura 20 - Valores médios mensais de precipitação da estação pluviométrica de Laranjeiras entre os anos de 2001 e 2023.	66
Figura 21 - Plantas ornamentais utilizadas no jardim de chuva do Colégio Eliezer Max.	67
Figura 22 - Área de contribuição para o jardim de Chuva instalado no Colégio Eliezer Max, Rio de Janeiro, RJ.	68
Figura 23 - Imagens do jardim de Chuva do Colégio Eliezer Max.	68
Figura 24 - Ensaio de anéis concêntricos realizado no jardim de chuva do Colégio Eliezer Max.	70
Figura 25 - Tubo instalado no centro do jardim com perfurações laterais e fundo aberto, envolto em manta geotêxtil.	76
Figura 26 - Linígrafos para medição de nível d'água armazenado no jardim de chuva.	77
Figura 27 - Interface do Hydrus-1D apresentando o perfil discretizado em 100 intervalos.	78
Figura 28 - Janela para inclusão das informações sobre o período dos tempos que serão analisados, do programa Hydrus 1D.	79
Figura 29 - Sistema de coleta e armazenamento da precipitação direta, Colégio Eliezer Max, Laranjeiras, Rio de Janeiro.	82
Figura 30 - Sistema de coleta da primeira água do escoamento superficial, First Flush, instalado no tubo de drenagem do telhado e da laje do andar superior, Colégio Eliezer Max, Laranjeiras, Rio de Janeiro.	83

Figura 31 - Tubo instalado no jardim de chuva para coleta da água após a passagem pelo jardim.....	84
Figura 32 - Quantidade total da precipitação por mês, durante a análise do jardim de chuva no Colégio Eliezer Max, bairro das Laranjeiras, Rio de Janeiro, RJ.	89
Figura 33 - Composição do solo conforme análise granulométrica e classificação conforme a NBR 6502 da ABNT.	90
Figura 34 - Diagrama triangular para a classificação da textura do solo utilizada pelo Departamento de Agricultura dos EUA.	91
Figura 35 - Comportamento hidrológico registrado pelo linígrafo do Colégio Eliezer Max, Rio de Janeiro, entre os dias 30/08/2021 e 03/09/2021.	93
Figura 36 - Comportamento hidrológico registrado pelo linígrafo do Colégio Eliezer Max, Rio de Janeiro, no dia 12/09/21.....	94
Figura 37 - Curva da taxa de infiltração do solo do jardim de chuva, obtida através do teste dos anéis concêntricos.	95
Figura 38 - Curva de retenção do solo do Jardim de chuva localizado no Colégio Eliezer Max, Laranjeiras, Rio de Janeiro (Theta / h).	98
Figura 39 - Fluxo de água na base do jardim de chuva analisado, no Colégio Eliezer, Laranjeiras, Rio de Janeiro, entre os meses de agosto de 2021 e agosto de 2023.	100
Figura 40 - Fluxo de água real na superfície (actual surface flux), entre os meses de agosto de 2021 e agosto de 2023, no jardim de chuva da escola Eliezer Max, em Laranjeiras, Rio de Janeiro.	101
Figura 41 - Precipitação efetiva entre as 08:30 h do dia 07/02/2023 e as 07:30 h do dia 08/02/2023, capitada pela estação pluviométrica de Laranjeiras, Rio de Janeiro.	102
Figura 42 - Avaliação do fluxo de água no solo durante o período de 24 h, a partir das 8:30 da manhã do dia 7/02/2023, em relação a profundidade do solo e o teor de água no solo (Theta r), em Laranjeiras, Rio de Janeiro.	103
Figura 43 - Pressão exercida pela água no solo ao longo do tempo de análise, estimada para o jardim de chuva localizado no bairro das Laranjeiras, Rio de Janeiro.	104
Figura 44 - Pontos de observação do conteúdo de água no solo durante o período analisado de 24 h, através da precipitação ocorrida na Escola Eliezer Max, no bairro das Laranjeiras, Rio de Janeiro.	105

Figura 45 - Boxplot dos valores de pH obtidos da precipitação direta (PD), do First flush (FF) e do jardim de chuva (JC), coletados ao longo da pesquisa no Colégio Eliezer Max.	106
Figura 46 - Boxplot dos valores de Condutividade elétrica obtidos da precipitação direta (PD), First Flush (FF) e do jardim de chuva (JC).	107
Figura 47 - Boxplot de valores de turbidez obtidos na precipitação direta (PD), First flush (FF) e no jardim de chuva (JC), no colégio Eliezer Max.	109
Figura 48 - Boxplot dos valores de COT obtidos da precipitação direta (PD), First Flush (FF) e do jardim de chuva (JC). b – valores de COT da PD, FF e JC com volume total de chuva no mês da coleta.	110
Figura 49 - Boxplot dos valores encontrados para o parâmetro STD da precipitação direta (PD), First Flush (FF) e Jardim de Chuva (JC).	111
Figura 50 - Boxplot dos valores encontrados para a quantidade de Coliformes Termotolerantes obtidos na precipitação direta (PD), First Flush (FF) e jardim de chuva (JC).	112
Figura 51 - Boxplot dos valores obtidos do parâmetro Fósforo Total da precipitação direta (PD), First Flush (FF) e jardim de chuva (JC).	113
Figura 52 - Análise de correlação entre os parâmetros de qualidade de água obtidos no jardim de chuva da escola Eliezer Max.	114
Figura 53 - Fluxograma das etapas da aplicação do questionário.	121
Figura 54 - Caracterização do perfil profissional do entrevistado.	125
Figura 55 - Opiniões sobre qual nomenclatura deveria ser utilizada no Brasil para descrever as técnicas alternativas para o manejo das águas urbanas, obtidas da aplicação do questionário.	126
Figura 56 - Quantitativo dos participantes que tinham conhecimento sobre as técnicas de Infraestrutura Verde indicadas no questionário.	128
Figura 57 - Grau de relevância do desconhecimento das Infraestruturas Verdes para a baixa utilização dessas técnicas alternativas no Brasil.	129
Figura 58 - Importância da falta de parâmetro técnico construtivo para a disseminação das técnicas de Infraestrutura Verde no Brasil, conforme a resposta dos entrevistados.	129
Figura 59 - Importância atribuída às dúvidas quanto à eficiência das Infraestruturas Verdes para sua baixa utilização no Brasil, de acordo com os participantes da pesquisa.	130

Figura 60 - Importância atribuída pelos participantes da pesquisa ao alto custo construtivo para a instalação.....	131
Figura 61 - A importância atribuída pelos participantes da pesquisa à ausência de incentivo financeiro por parte do governo para a popularização das técnicas no Brasil.	131
Figura 62 - Importância atribuída pelos participantes da pesquisa à ausência de legislações que obriguem ou estimulem a implantação das técnicas para sua popularização no Brasil.	132
Figura 63 - Foto dos canteiros de árvores interligados pelo solo, com divisórias superficiais, possibilitando o fluxo de água pelo solo e maior capacidade de retenção. Praça Nelson Mandela, Botafogo, Rio de Janeiro.....	138
Figura 64 - Esquema apresentado na NBR 9050/2020, com a faixa de serviço, onde encontra-se a árvore, possui 0,70 m de largura.....	139
Figura 65 - Material de divulgação da prefeitura contendo as etapas da construção do jardim.	140
Figura 66 - Detalhe da ligação da rua com o jardim de chuva instalado no bairro de Copacabana, Rio de Janeiro, Brasil.....	141
Figura 67 - Piso de cimento utilizado nas praças do bairro da Glória, cidade do Rio de Janeiro, em reforma realizada ao longo de 2023.	142
Figura 68 - Praça Nossa Senhora da Glória, bairro da Glória, cidade do Rio de Janeiro, nos anos de 2023 e 2017.....	143
Figura 69 - Assuntos contemplados nas legislações do IPTU Verde dos Municípios levantados, expressos em valores percentuais.....	148

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quadro descritivo com as nomenclaturas mais populares referentes às técnicas alternativas para sistemas de drenagem.	20
Tabela 2 - Custos para instalação e manutenção de jardins de chuva em diferentes países.....	47
Tabela 3 - Resumo de dados sobre as alterações na vazão do escoamento superficial, após a implementação de um jardim de chuva.	51
Tabela 4 - Resumo de dados sobre a remoção de poluentes do escoamento superficial, após a implementação de jardins de chuva, conforme os estudos levantados.....	54
Tabela 5 - Precipitação mensal (mm) da estação pluviométrica de Laranjeiras (ALERTA RIO, 2023) e do pluviômetro instalado no Colégio Eliezer Max.	64
Tabela 6 - Valores dos coeficientes de chuvas IDF descritos pela Rio-Águas (2019) para a cidade do Rio de Janeiro.	72
Tabela 7 - Índice de correção com base na latitude do ponto amostrado e os meses do ano.	81
Tabela 8 - Classificação da textura do solo. Foram adotados os parâmetros granulométricos utilizados na norma ABNT NBR 6502 de 1995.....	90
Tabela 9 – Classificação dos valores da taxa de infiltração ou condutividade hidráulica saturada.....	94
Tabela 10 - Valores de cálculo da capacidade de retenção de água pelo Jardim de Chuva do Colégio Eliezer Max.	96
Tabela 11 – Parâmetros da equação de retenção de água (Equação de van Genuchten – Mualem) apresentados pela ferramenta do pacote do Hydrus 1D, o Rosetta Lite 1.1. O valor de Ksat foi obtido em avaliação no campo (considerado o valor da TBI).....	99
Tabela 12 - Listagem de municípios que possuem legislações referentes ao IPTU Verde.....	149
Tabela 13 - Listagem de legislações que contemplam as Soluções Baseadas na Natureza, nas cidades levantadas.	154

LISTA DE FÓRMULAS

Equação 1 - Equação de Horton utilizada para o cálculo da velocidade de infiltração.	70
Equação 2 - Equação IDF ou equação de Intensidade-duração-frequência de chuva.	72
Equação 3 - Cálculo da vazão pelo método racional.	73
Equação 4 - Fórmula para cálculo da capacidade de retenção do Jardim de Chuva pelo método racional.	74
Equação 5 - Cálculo do volume infiltrado.	74
Equação 6 - Infiltração acumulada.	74
Equação 7 - Cálculo do valor de segurança da sortividade do solo.	75
Equação 8 - Cálculo da evapotranspiração com temperaturas abaixo de 26°C.....	80
Equação 9 - Cálculo do índice de calor.....	80
Equação 10 - Cálculo do expoente a para correção e estimativa da evapotranspiração.....	80
Equação 11 - Cálculo de evapotranspiração utilizada quando o valor médio da temperatura mensal é superior do que 26°C.....	81
Equação 12 - Cálculo para correção da evapotranspiração.....	81
Equação 13 - diferença na concentração dos poluentes na água da chuva.	86

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	19
A Infraestrutura Verde	26
OBJETIVO GERAL	38
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	38
CAPÍTULO 1 – Jardins de chuva: o estado da arte da técnica a partir de uma revisão sistemática.....	40
1.1 INTRODUÇÃO SOBRE JARDINS DE CHUVA	40
1.2 METODOLOGIA DA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE JARDINS DE CHUVA	40
1.3 RESULTADOS DA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE JARDINS DE CHUVA	43
1.3.1. Custos de instalação, operação e manutenção	46
1.3.2 Capacidade de retenção de água	48
1.3.3 Controle da poluição	51
1.3.4 Aspectos construtivos e operacionais	54
1.3.5. Fatores socioambientais	56
1.4 CONCLUSÃO DA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE OS JARDINS DE CHUVA	57
CAPÍTULO 2 – Capacidade de retenção de água da chuva e redução da poluição difusa do escoamento superficial de um Jardim de Chuva instalado na Cidade do Rio de Janeiro.....	59
2.1 INTRODUÇÃO SOBRE ANÁLISE DA CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA E DA POLUIÇÃO DIFUSA DE UM JARDIM DE CHUVA	59
2.1.1 A avaliação de um jardim de chuva como medida complementar para melhoria da drenagem urbana	60
2.2 OBJETIVO DO CAPÍTULO SOBRE OS ASPECTOS QUANTITATIVO E QUALITATIVO DE UM JARDIM DE CHUVA.....	61
2.3 METODOLOGIA DO EXPERIMENTO DE CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA E REMOÇÃO DE POLUENTES DE UM JARDIM DE CHUVA	61
2.3.1 Caracterização da área	61

2.3.2	Teste de permeabilidade do solo	70
2.3.3	Caracterização do solo	71
2.3.4	Intensidade da precipitação	72
2.3.5	Cálculo para a entrada de água no jardim	73
2.3.6	Nível de água do solo	75
2.3.7	Comportamento da água no solo por meio de modelo computacional	77
2.3.8	Capacidade de retenção poluentes do escoamento superficial pelo Jardim de Chuva	81
2.4	RESULTADOS DA CAPACIDADE DE RETENÇÃO DO VOLUME DE ÁGUA E POLUENTES DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL PELO JARDIM DE CHUVA	88
2.4.1	Análise dos eventos observados de precipitação	88
2.4.2	Análise do volume da água no Jardim	89
2.4.3	Qualidade de amostras de água obtidas do Sistema Jardim de Chuva	105
2.6	CONCLUSÃO DA ANÁLISE DA CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO E DAS AMOSTRAS QUALITATIVAS DE ÁGUA EM UM JARDIM DE CHUVA	116
	CAPÍTULO 3 – Entraves e propostas para a expansão da técnica de Jardins de Chuva no Brasil	118
3.1	INTRODUÇÃO SOBRE O PROCESSO DE IMPLEMENTAÇÃO DA TÉCNICA DE JARDINS DE CHUVA	118
3.2	OBJETIVOS DO CAPÍTULO QUANTO AOS ENTRAVES PARA A IMPLANTAÇÃO DE JARDINS DE CHUVA NO BRASIL	119
3.3	METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DOS DESAFIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE JARDINS DE CHUVA NO BRASIL	119
3.3.1	Barreiras para a implementação de projetos de infraestrutura verde no mundo e similaridades com a situação brasileira	120
3.3.2	Pesquisa bibliográfica sobre programas governamentais e legislações aplicadas	123
3.4	RESULTADOS DA PESQUISA SOBRE OS ENTRAVES PARA A IMPLANTAÇÃO DE JARDINS DE CHUVA NO BRASIL	124
3.4.1	Barreiras para a implementação de projetos de infraestrutura verde no mundo e sua similaridade com a situação brasileira	124

3.4.1.1 - Barreiras legais nas esferas federais e estaduais	132
3.4.1.2 – Barreiras legislativas municipais	136
3.4.1.3 – Barreiras de governança	144
3.4.1.4 – Barreiras financeiras	146
3.4.1.5 – Barreiras cognitivas	150
3.4.2 Pesquisa bibliográfica sobre programas governamentais e legislações aplicadas	151
3.5 CONCLUSÃO DA PESQUISA SOBRE OS ENTRAVES PARA A IMPLANTAÇÃO DE JARDINS DE CHUVA NO BRASIL	155
4 – CONCLUSÃO GERAL	158
REFERÊNCIAS	160
APÊNDICE A – Pesquisa de opinião para trabalho de tese de doutorado.....	184
APÊNDICE B – Tabela de levantamento de legislações sobre a temática de Infraestrutura Verde.....	190

INTRODUÇÃO

De maneira geral, o processo de urbanização ocorre com a degradação das águas urbanas, sobretudo causadas por ocupações desordenadas e irregulares (TARGA et al., 2012). O aumento da poluição pontual, causado pela emissão de efluentes domésticos diretamente despejados nos rios, e a impermeabilização dos terrenos, com o aumento do escoamento superficial, que carreiam poluentes atmosféricos, resíduos de ruas e calçadas para o sistema de drenagem urbana. Todos esses fatores também contribuem para a degradação dos córregos urbanos (CARSTENS; AMER, 2019; HUA et al., 2020; SILVA et al., 2020; XU et al., 2019).

Medidas estruturais têm sido implementadas para promover a recuperação hidrológica das bacias urbanas, com destaque para a adoção de grandes reservatórios para regular a vazão inicial das chuvas, além da implantação de estações de tratamento de esgoto e unidades de tratamento de rios (UTR). No entanto, os desafios para a implantação dessas medidas aumentam conforme se observa uma ocupação urbana acentuada (XU et al., 2019), especialmente quando as respostas ocorrem em caráter emergencial e paliativo (TUCCI, 2016).

Como forma complementar aos processos de saneamento convencionais, são pesquisadas medidas que se baseiam em princípios naturais de saneamento ambiental, como a fitorremediação e o armazenamento da água no solo. A fitorremediação auxilia na redução da disponibilidade dos poluentes e nutrientes carregados pelo escoamento superficial para os rios e lagos, uma vez que ocorre a retirada dos contaminantes do solo e da água, pela planta, que os utiliza como nutriente ou os acumula em seus tecidos. A vegetação ainda é responsável por liberar o oxigênio e enzimas no solo, que estimulam a biodegradação de poluentes e possibilitam, por meio de associações simbióticas¹, a intensificação da biodegradação por fungos e micróbios existentes na região de contato da raiz com o solo (BAIRD; CANN, 2011). O armazenamento de água no solo, por outro lado, intensifica esse processo ao reter grande quantidade de água da precipitação em suas diversas camadas, de modo a favorecer a fitorremediação e retardar a

¹ Associação simbiótica é quando diferentes tipos de organismos se relacionam para benefício mútuo. No caso entre as plantas e fungos, ocorre a formação das micorrizas, fundamentais na ciclagem de nutrientes e na manutenção da qualidade do solo.

ocorrência do escoamento superficial, até que ocorra a sua saturação (SONG et al., 2021).

O estudo desses métodos alternativos possui diversas denominações adotadas por diferentes países, conforme descrito por Fletcher et al. (2015) e Hua et al. (2020), de acordo com as finalidades e expectativas de cada pessoa ou grupo responsável pela implementação da técnica (Tabela 1).

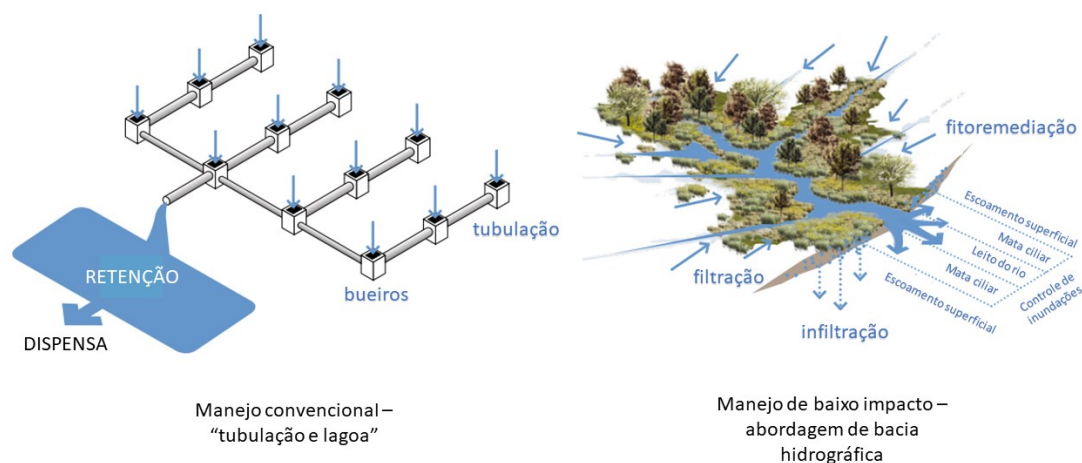
Tabela 1 - Quadro descritivo com as nomenclaturas mais populares referentes às técnicas alternativas para sistemas de drenagem.

Nome traduzido	Nome original	Países que utilizam
infraestrutura verde	<i>green infrastructure - GI</i>	EUA
desenvolvimento de baixo impacto	<i>low impact development - LID</i>	EUA, Canadá e Nova Zelândia
sistema de drenagem urbana sustentável	<i>sustainable urban drainage systems - SUDS</i>	Reino Unido
desenvolvimento urbano sensível a água	<i>water sensitive urban design – WSUD</i>	Austrália
melhores práticas de gestão	<i>best management practices - BMP</i>	EUA
cidade esponja	<i>sponge city</i>	China

Fonte: Fletcher et al. 2015 (adaptado pelo autor).

Essas técnicas se contrapõem ao conceito tradicional de drenagem urbana, que se fundamenta em evitar o acúmulo de água nos locais onde ocorre o rápido escoamento, através de dutos e canais. Nesse novo paradigma, a água é retida para infiltração e purificação, no conceito conhecido como os “3 S” (*slow, spread and sink*) que na tradução literal significa desacelerar, espalhar e infiltrar. Além disso, também é estimulada a substituição, sempre que possível, por material da chamada infraestrutura cinza, como concreto, aço e asfalto, para utilizar a infraestrutura verde, que utiliza materiais e estruturas naturais, como jardins, plantas e o próprio solo, visando o aumento das áreas permeáveis e dos processos naturais (Figura 1). Além de promover a gestão sustentável da água, esse conceito também contribui para a melhoria da qualidade do ar, proporciona maior conforto térmico e melhora o aspecto paisagístico das áreas urbanas, beneficiando diretamente a qualidade de vida da população (KIM; MILLER, 2019; TILLIE; VAN DER HEIJDEN, 2016; XU et al., 2019).

Figura 1 - Avaliação conceitual entre Infraestrutura cinza e Infraestrutura verde.



Fonte: Adaptado de *University of Arkansas Community design Center (UACDC, 2010)*.

Atualmente, diversos países, como China, Estados Unidos, Holanda e Alemanha, desenvolvem iniciativas na área, tanto com projetos de manejo das águas, quanto com modelos mais impactantes como o destamponamento de rios urbanos, quando rios que canalizados são descobertos novamente, de forma a retomar sua função visual, numa tentativa de renaturalizá-lo. Um exemplo de destaque é o da cidade chinesa de Wuhan, localizada no encontro dos rios Yangtze e Han, com problemas históricos de drenagem, devido à sua baixa altitude em relação ao mar. A cidade, conhecida como cidade dos mil lagos, obteve sua revitalização com a implementação do programa de cidades esponjas, que a transformou em referência para projetos de revitalização no mundo (CHAN et al., 2018; XU et al., 2019).

Na China foi observado nos últimos 50 anos o êxodo de sua população rural para as cidades, o que neste caso, significou a conversão aproximada de 20% de seu território rural em urbano. O resultado disso foi que, entre os anos de 2006 e 2010, quase um quarto das cidades chinesas sofreram com inundações severas, com prejuízos estimados em US\$ 221 bilhões. A avaliação foi de que sua drenagem havia sido construída para absorver chuvas com recorrência estimada entre 1 a 10 anos, com isso, suas cidades não seriam capazes de resistir aos eventos extremos, previstos para ocorrerem com cada vez mais frequência. Movido por esta constatação, a partir de 2013, o Governo Chinês selecionou primeiramente 16

idades e, posteriormente, mais 14, para testar ideias de desenvolvimento de baixo impacto (*low impact development* - LID), com a promoção de pavimentos permeáveis, uso de valetas e canais de infiltração, e criação de áreas alagáveis dentro dos parques urbanos (Figura 2). Após estas intervenções, tanto os processos de infiltração da água da chuva, quanto seu armazenamento serviram como referência norteadora para o processo de adaptação das cidades chinesas, que definiram como meta que em 6 anos, as áreas urbanas deveriam ter a capacidade de infiltrar no solo 20% do escoamento superficial, além de reutilizar 70% da água da chuva (CHAN et al., 2018).

Observa-se pelo delineamento do programa de Cidade Esponja da China, que não se trata somente de uma alternativa para o controle das inundações, mas sim para coletar, purificar e reutilizar a água da chuva, de maneira a adaptar as cidades para o avanço das mudanças climáticas. A China, apesar de possuir 20% da população mundial, possui apenas 5% da água doce do planeta. Além do baixo volume de água, suas reservas subterrâneas são consumidas em velocidade acima do que conseguem se reabastecer (QIU, 2010).

Figura 2 – (a) - Foto aérea da cidade esponja de Qian'an, na província de Hebei, no norte da China, projeto elaborado pelo instituto de design Turenscape, que se baseia na relação da terra com o homem, do arquiteto e paisagista Kongjian Yu. (b) - foto de estacionamento na cidade com largos canteiros vegetados e pisos permeáveis.



(a)

Fonte: XINHUA, 2021.



(b)

Nos Estados Unidos, um dos pioneiros na implementação dos projetos de Infraestrutura Verde, o maior entusiasta da técnica é a própria Agência Ambiental (*Environmental Protection Agency* – EPA), que desenvolveu os principais manuais e programas de referência sobre o assunto, inclusive com casos implementados

desde a década de 1990, em parceria com o condado americano de *Prince George's Country*, no estado de *Maryland* (FLETCHER et al., 2015).

O “Manual de Projeto para a Utilização da Biorretenção no Controle do Escoamento Superficial” (*Design Manual for Use of Bioretention in Stormwater Management*) traz o conceito de biorretenção para ser implementado nas drenagens urbanas, com descrições completas sobre a técnica, exemplos práticos, métodos construtivos, locais apropriados e mesmo espécies de plantas recomendadas para serem utilizadas (DER, 1999). Posteriormente, este foi atualizado para Manual de Biorretenção (*Bioretention Manual*), que incorporou novos conhecimentos em quatro aspectos principais: (1) funcionalidade e aplicação; (2) eficiência de remoção de poluentes; (3) estética e integração do local; e (4) simplificação de projeto para contenção de custos (DER, 2007).

Após esse manual, lançado originalmente em 1992, outras cidades seguiram o mesmo caminho, com a implementação de experiências práticas, publicação de manuais e criação de legislações que visavam ou mesmo estimulavam o uso dessas técnicas. Neste caminho, pode ser citado o projeto demonstrativo realizado em uma rua residencial na cidade de Portland, Oregon, intitulado *NE Siskiyou Green Street Project* (PDT, 2005). Neste foram instalados dois canteiros, na pista de rodagem, junto à calçada, com as medidas de 18 m de comprimento e 7 de largura. Com a proposta de demonstrar a possibilidade de instalação de estruturas de drenagem sustentável em vias públicas ao custo relativamente baixo de 20 mil dólares para construção da estrutura. O manual de “Melhores práticas para gestão da qualidade do escoamento superficial” (*Manual of Best Management Practices for Stormwater Quality*) da cidade de Kansas (MARC & APWA, 2012) foi criado para que servisse como orientação para a região metropolitana, em atendimento aos compromissos estabelecidos com planos de manejo e outras leis. Outro documento bastante citado em estudos sobre a área, principalmente por suas fotografias e gravuras bastante didáticas, além dos esquemas apresentados, foi o “Manual de Desenvolvimento de Baixo Impacto para áreas urbanas” (*LID – Low Impact Development: a design manual for urban areas*), elaborado e publicado pelo Centro Comunitário da Universidade de Arkansas (UACDC, 2010). E por último, um mais recente da própria Agência de Meio Ambiente dos Estados Unidos, a EPA (Environmental Protection Agency), sobre oportunidades para instalação de infraestruturas verdes durante a

gestão municipal (*Green Infrastructure Opportunities that Arise During Municipal Operations*) (EPA, 2015).

Na Europa, a Holanda possui iniciativas conhecidas, como a da cidade de Roterdã, que criou o programa - Convivendo com Água (*Living with Water*), como parte da Política Nacional da Água, que visava a implantação de técnicas de infraestrutura verde, e reservatórios, como forma de reduzir os efeitos das enchentes (Figura 3). Os esforços da cidade eram tanto para criação como para manutenção de parques, jardins e outras áreas verdes, com atuação de diferentes serviços ecossistêmicos. Atualmente, a cidade possui 117 parques públicos, com 1.765 ha, sendo um dos mais conhecidos o *Zuiderpark*, criado em 1952 e reformado em 2002. Neste parque, chegou a ser implantado um *wetland*, ou seja, um sistema de tratamento de água com o uso de plantas que propiciam a fitorremediação (*helophyte filters* - filtro de plantas helófitas²) para o tratamento da água (TILLIE; VAN DER HEIJDEN, 2016).

Figura 3 - Soluções adotadas na cidade de Roterdã, Holanda. a – área de reservação de água da chuva. b – área de passagem de bonde com pavimento permeável.



Fonte: BLUE-GREEN TEAM, 2016.

² Plantas típicas de pântanos, onde as folhas permanecem submersas.

Na Alemanha, a experiência com técnicas de infraestrutura verde, como telhados verdes, biovaletas e *wetlands* construídos, já existe há pelo menos três décadas. Atualmente, se destaca na elaboração de uma política de promoção para implantação de projetos de Infraestrutura Verde (NICKEL et al., 2014), com a previsão cada vez maior voltada para o combate às mudanças climáticas, uma vez que fatores como o aumento da temperatura global tendem a intensificar a deposição de poluentes nos corpos hídricos (WIJESIRI; LIU; GOONETILLEKE, 2020).

Esses projetos, iniciados na década de 1990, foram pensados inicialmente para amenizar os efeitos da chuva nos centros urbanos, no entanto atualizaram seus objetivos devido à urgência mundial de preparar as cidades para que se tornem mais resilientes aos impactos mais severos e recorrentes ocasionados pelas mudanças climáticas. A razão para essa preocupação torna-se evidente ao observar que os desastres ocorridos em áreas urbanas, decorrentes das mudanças climáticas, quadruplicaram nos últimos 30 anos (APOLLARO; ALVIM, 2017).

Atualmente, os painéis intergovernamentais da ONU³, o IPCC⁴ e o IPBES⁵, convergem na visão de que as mudanças climáticas e a perda de biodiversidade não podem ser tratadas isoladamente. Em vez disso, elas devem ser abordadas de forma integrada, reconhecendo sua interconexão e interdependência. Essas organizações consideram que as Soluções Baseadas na Natureza (SbN) são ferramentas promissoras para enfrentar esses desafios nos meios urbanos (HERZOG; ROZADO, 2020).

Essas Soluções Baseadas na Natureza (SbN) também constituem uma estratégia relevante para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), aprovados pela cúpula das Nações Unidas em 2015, com metas para 2030. Lombardía e Gómez-Villarino (2023) destacam ainda que a Infraestrutura Verde pode contribuir para todos os 17 ODS, com avanços em 74 das 169 metas estabelecidas. No caso do Objetivo 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), a implementação de SbN pode contribuir para alcançar 80% das metas, incluindo a de redução do risco de inundações. Outro ponto bastante significativo é o objetivo 6,

³ Organização das Nações Unidas

⁴ Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas

⁵ Plataforma Intergovernamental para a Biodiversidade e os Serviços Ecossistêmicos

sobre Água Limpa e Saneamento, amplamente respaldado pelas infraestruturas verde e azul, na melhoria da drenagem urbana e da qualidade da água.

Outro termo que vem ganhando cada vez mais notoriedade é a Infraestrutura Verde e Azul, uma tradução do *Blue-Green Infrastructure* (BGI). O termo é utilizado quando as aplicações tem o objetivo tanto de reduzir os impactos causados pela urbanização, como adaptar às cidades as mudanças climáticas, principalmente no que diz respeito às ondas de calor e inundações. Segundo Almaaitah et al. (2021), as Infraestruturas Verdes seriam aquelas que buscam mimetizar o sistema hidrológico natural, e regular a energia da superfície através da evapotranspiração, sombreamento e controle das emissões. Nela estariam contidos os jardins de chuva, biovaletas, pavimentos permeáveis, telhados verdes, arborização urbana e os canais artificiais rasos com plantas aquáticas, ou *wetlands*. Já a infraestrutura azul seria referente a estruturas construídas nas cidades para reduzir o escoamento superficial através do armazenamento da água, como tanques subterrâneos, reservatórios de água da chuva e mesmo retenção subterrânea de água. Apesar de conceitos por vezes complementares, os manuais da Agencia Ambiental Americana (EPA, 2015) ainda consideram os tanques de armazenamento de água, por exemplo, como parte da infraestrutura verde. Desta forma, este trabalho não distinguirá um termo do outro, inclusive por ter utilizado o termo mais antigo em suas pesquisas, assim, será tratado somente como Infraestrutura Verde.

A Infraestrutura Verde

Eventos chuvosos geram distintas contribuições de poluentes aos córregos urbanos, em função de fatores tais como o volume e a intensidade da precipitação, a capacidade de infiltração e retenção da água e de poluentes, a proporção das áreas impermeáveis e o fluxo de veículos (BIAN et al, 2011; CARSTENS; AMER, 2019; HUA et al., 2020). Além disso, os tipos de poluentes das águas dos rios estão relacionados ao uso da área da bacia. Em áreas rurais, predominam maiores valores de nutrientes e sedimentos, decorrentes da fertilização da agricultura e da exposição do solo (SIMEDO et al., 2018). Em áreas de florestas, predominam maiores quantidades de fósforo e nitrogênio, oriundos da ciclagem natural de nutrientes e da

absorção de nitrogênio por fungos e bactérias. Há também uma baixa quantidade de sólidos em suspensão, resultado da filtragem natural exercida pelas matas ripárias. Nas bacias urbanizadas, são encontrados valores mais elevados de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e de nutrientes. Esses resultados decorrem da descarga inadequada de efluentes domésticos, além da presença de sólidos totais e metais pesados, originários da poluição difusa (MOURI; TAKIZAWA; OKI, 2011).

Com custos de implantação reduzidos e alta eficácia (GUO et al., 2019; KABISCH et al., 2017; MOURA; PELLEGRINO; MARTINS, 2016), as Soluções Baseadas na Natureza (SbN) buscam estruturar cidades mais sustentáveis. Essas soluções minimizam os impactos da urbanização e adaptam os espaços por meio de infraestrutura verde, como pisos permeáveis, valetas de biorretenção e telhados verdes, entre outros (KABISCH et al., 2017).

Pavimentos permeáveis

Bastante utilizados mundialmente, os pisos permeáveis substituem os pisos tradicionais, como concreto ou asfalto, por alternativas mais sustentáveis. São superfícies ou materiais utilizados em pavimentação, projetados para ajudar na gestão sustentável das águas pluviais. Eles permitem que a água da chuva seja absorvida pelo solo ou direcionada para sistemas de drenagem mais eficientes. Nesse tipo de pavimento, são utilizados materiais como cascalho de diferentes granulometrias (HASHIM et al., 2022), em substituição a componentes de grão fino, como areia.

Na China, o conceito tem sido bastante utilizado em programas de reformulação urbana, implementados pelo governo para a adaptação das cidades e a conversão em cidades sustentáveis (CHAN et al., 2018). Os pavimentos permeáveis são aplicados tanto em calçadas e ciclovias quanto em vias de rodagem de veículos. Muitas vezes, eles são instalados sobre células estruturais de sustentação com espaços vazios, que aumentam a capacidade de armazenamento de água (Figura 4).

Estudos demonstram que o pavimento permeável pode eliminar o volume de escoamento superficial se implantado em 10 a 15% da área total de uma bacia, para chuvas de até 44 mm/h, quando comparado a um pavimento impermeável (HASHEMI; TAJRISHY; JALILVAND, 2020).

Sua eficácia também se observa na retenção de poluentes do escoamento superficial, com até 95% de redução de coliformes totais, conforme estudo de Becker et al. (2021).

Figura 4 - Dois tipos de pavimentos permeáveis, um construído através da retirada de materiais finos, como areias e outro, com área interna vazada para plantio de vegetação.



Fonte: Bastos, 2013.

Células de biorretenção ou Jardins de chuva

Os Jardins de Chuva são áreas de pequena extensão caracterizadas por uma depressão topográfica, cujo fundo pode ser tanto permeável quanto impermeável, e conectados ou não a um sistema de tubos de drenagem. No interior, possuem uma base de material drenante, coberta por um substrato adequado para o plantio de espécies vegetais, que podem incluir gramíneas, arbustos ou até árvores de pequeno porte (PEREIRA et al., 2021).

Essas estruturas são concebidas para serem instaladas em cotas mais baixas de áreas impermeáveis, com o propósito de receber o escoamento proveniente dessas superfícies. Consistem em valas em que as dimensões de comprimento são maiores que as de largura, evidenciando, assim, a linearidade do sistema. Essa técnica, fundamentada nos princípios de infiltração e percolação das águas, também segue alguns princípios das trincheiras de percolação ou trincheiras drenantes

(OHNUMA JR., 2008), principalmente com o acréscimo da vegetação para a função de fitorremediação.

Esta abordagem é eficaz em estacionamentos ou áreas urbanas com disponibilidade limitada de espaço verde, como indicado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2015). O sistema retém temporariamente a água da chuva e o escoamento superficial, e armazena a água entre os vazios do solo (Figura 5).

Essas células podem ser construídas com sua base permeável ou impermeável. A água direcionada à célula é armazenada e filtrada naturalmente no solo, sendo então encaminhada, por tubulações de drenagem na base, ao sistema de drenagem convencional. Esse processo retarda a liberação do escoamento superficial e remove seus poluentes (DER, 1999).

Figura 5 - Jardins de chuva, onde a condução da água ocorre, para canteiros com árvores plantadas ou com plantas arbustivas e herbáceas.



Fonte: EPA (2015).

Telhados verdes

Estrutura mais popular, o telhado verde, também conhecido como cobertura vegetal ou jardim suspenso, possui uma camada de vegetação, como gramíneas ou outras plantas, sobre um substrato como base. A implementação desse sistema

ocorre sobre lajes ou mesmo em coberturas convencionais, sendo constituída por camadas de impermeabilização e drenagem (KABISCH et al., 2017).

Diversos são os benefícios associados aos telhados verdes, como a melhoria da qualidade do ar nas proximidades do edifício, graças à absorção de CO₂ pelas plantas. Além disso, os telhados verdes melhoram o conforto térmico no interior das edificações onde são instalados, atuando como isolantes. A evapotranspiração das plantas reduz a temperatura do ar e atua como isolante acústico (AN et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2023).

Os telhados verdes auxiliam na redução do escoamento superficial, assim como na filtragem da precipitação. Por realizar a filtragem da precipitação, retendo inclusive o material particulado presente no ar, a água captada tem usos alternativos nas residências, como rega de jardins e a lavagem de carros, entre outros (Figura 6).

Figura 6 - Exemplo de telhado verde implantado no Brasil e composição de camadas da estrutura padrão.



Legenda: Telhado verde implantado na cidade de Blumenau, na Cia. Hering, e esquema de camadas para construção de telhado verde.

Fonte: telhado verde (prefeitura de Blumenau, 2018); esquema construtivo de camadas (foto extraída da internet de autoria desconhecida, 2024).

Arborização urbana

A existência de ilhas de calor nas áreas urbanas vem sendo cada vez mais observada devido à grande quantidade de áreas construídas com materiais que retêm calor, como concreto e asfalto. A implementação de arborização urbana como técnica de redução de temperatura nas cidades, assim como de retenção de água, tanto em folhas e troncos quanto nos canteiros, é também considerada no projeto de

idades mais sustentáveis, mais adaptadas às mudanças climáticas, sendo parte de uma infraestrutura verde (Figura 7).

Na seleção das espécies arbóreas para o plantio nas zonas urbanas, é preciso considerar fatores como a queda das folhas nas estações secas e a alta produção de frutos. Além de sujar as ruas, essa queda pode obstruir os sistemas de drenagem, agravando os problemas de alagamento durante chuvas fortes. No entanto, quando levados em consideração os fatores de controle do microclima das cidades, árvores com copas densas, folhas escuras e troncos rugosos são as mais recomendadas (RAHMAN et al., 2020). Essas árvores podem reduzir a temperatura da grama em até 3°C e do asfalto em até 6°C, além de influenciarem a evapotranspiração (RAHMAN et al., 2019). Em áreas urbanas, a diferença de temperatura gerada pela sombra das árvores é significativamente maior do que aquela proporcionada pela sombra de construções (CHARALAMPOPOULOS; MATZARAKIS, 2013).

Outro fator a considerar é que suas raízes exercem importante papel na infiltração da água no solo, uma vez que auxiliam na descompactação do terreno, além de auxiliar na manutenção da microflora do solo, importante para o processo de fitorremediação (BAIRD; CANN, 2011).

Figura 7 - Rua Gonçalo de Carvalho, no bairro Independência, na cidade de Porto Alegre/RS.



Fonte: Roberto Filho (Ecooar, 2018)

Nos processos de arborização urbana, também deve ser incentivado o aumento da retenção de água pelos canteiros, o que pode ser feito com a retirada das muretas de proteção instaladas normalmente ao redor das árvores, o rebaixamento do canteiro e a exposição do solo, que por vezes, é totalmente coberto pelo cimento das calçadas, quando os moradores as consertam sem deixar áreas para a infiltração de água no solo (Figura 8).

Figura 8 - Arborização urbana com canteiros utilizados para armazenamento de água da chuva, no bairro de Botafogo, Rio de Janeiro, RJ.



Fonte: O autor, 2021.

Áreas verdes urbanas (AVU)

No mesmo contexto das árvores urbanas, a manutenção de áreas verdes dentro das cidades é de vital importância para a qualidade de vida nos ambientes urbanos. Além de proporcionar beleza estética, as áreas verdes desempenham um papel fundamental ambiental, econômico e social nas cidades.

O fenômeno do adensamento populacional nas cidades é mundial e no Brasil não é diferente. Com o êxodo rural ocorrido a partir da década de 1960, atualmente mais de 80% da população brasileira vive nas cidades (IBGE, 2022), pressionando as áreas verdes urbanas a serem convertidas, quando não em novas moradias, em áreas públicas, muitas vezes impermeabilizadas.

Atualmente, o próprio código florestal (Lei nº 12.651, de 2012) traz a definição de AVU no parágrafo 3º, inciso XX, como sendo:

“espaços, públicos ou privados, com predomínio de vegetação, preferencialmente nativa, natural ou recuperada, previstos no Plano Diretor, nas Leis de Zoneamento Urbano e Uso do Solo do Município, indisponíveis para construção de moradias, destinados aos propósitos de recreação, lazer, melhoria da qualidade ambiental urbana, proteção dos recursos hídricos, manutenção ou melhoria paisagística, proteção de bens e manifestações culturais”;

Se baseando nesta legislação e em outras, como a Política Nacional de Mudanças Climáticas, o Ministério do Meio Ambiente do Brasil criou o programa “Áreas + Verdes” (2021), em que busca a identificação e o estímulo da manutenção dessas áreas, reconhecendo a relação da existência das AVU com a saúde humana. No lançamento do programa do MMA, foi citado um importante documento da Organização Mundial da Saúde (OMS), que serviu de base para o programa brasileiro intitulado “Espaços verdes urbanos e saúde – uma revisão de evidências”. Este programa apresenta benefícios comprovados na manutenção dessas áreas para a saúde humana, incluindo: melhorias no funcionamento do sistema imunológico, redução de obesidade, aumento de relaxamento, amortecimento de ruídos antropogênicos e produção de sons naturais, exposição reduzida à poluição do ar, redução do efeito de ilha de calor urbana, comportamento pró-ambiental aprimorado, exposição otimizada à luz solar e sono melhorado, melhoria da saúde mental e da função cognitiva, redução da morbidade cardiovascular, redução de diabetes tipo 2, benefícios durante a gravidez, com a melhoria de peso do bebê no nascimento e a redução da mortalidade.

Armazenamento de água da chuva

O armazenamento de água da chuva é sugerido pela Agência Ambiental Americana (EPA) como uma medida eficaz de retenção de água no lote privado,

para posterior uso e consequente redução do envio de água para o sistema de drenagem público (EPA, 2015).

Este armazenamento pode ocorrer através do uso de recipientes improvisados ou específicos para esse fim, assim como pode variar de volume, dependendo da disponibilidade de área para a instalação da estrutura e da disponibilidade financeira para a aquisição e implantação do sistema (Figura 9).

Esta água retida pode ser utilizada no próprio lote, como água de serviço para rega de jardins, lavagem de calçadas e outras atividades. Dependendo do volume, pode sofrer um tratamento primário para separação de sólidos grossos e decantação, a ser posteriormente utilizada para o vaso sanitário ou até mesmo para lavagem de roupas.

Figura 9 - Tanque de armazenamento de água da chuva utilizado pela equipe do laboratório de água da chuva, no colégio de Aplicação da UERJ, bairro da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.



Fonte: Projeto SAP/UERJ, 2022.

Áreas alagáveis

As áreas alagáveis constituem-se como reservatórios temporários durante eventos de precipitação intensa, possibilitando o armazenamento temporário da água resultante do escoamento superficial. Essas áreas podem ser naturais, como depressões em regiões vegetadas, ou construídas, com usos múltiplos, em áreas impermeáveis. Um exemplo de uso múltiplo é encontrado em Roterdã, na Holanda, onde uma quadra esportiva desempenha a função de reservatório de água da chuva

durante eventos de chuva intensa. Este espaço é equipado com bombas que permitem o esvaziamento do reservatório, garantindo um eficiente gerenciamento da água pluvial, quando não há mais sobrecarga no sistema de drenagem urbana (Figura 10).

Figura 10 - Quadra esportiva com função de reservatório de água da chuva durante eventos pluviométricos intensos, Roterdã, Holanda.



Fonte: Imagem retirada da publicação da UACDC, 2010.

Apesar do vasto material desenvolvido por pesquisas sobre a temática da Infraestrutura Verde, grande parte dele é realizada em regiões temperadas (OHNUMA JR et al, 2017) e sua aplicabilidade está normalmente direcionada para países desenvolvidos. Em países em desenvolvimento ou emergentes, como o Brasil, que trata somente de 55,8% do seu esgoto gerado (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2021), onde grande parte dos núcleos habitacionais descarta seus resíduos sanitários diretamente nas ruas ou rios urbanos, essas técnicas devem ser mais bem avaliadas, quanto ao seu uso e eficiência.

A aplicação de técnicas de Soluções Baseadas na Natureza ainda é incipiente no Brasil, com projetos pontuais, normalmente idealizados e realizados por técnicos das administrações locais ou pela população, não possuindo características para ser considerado um programa de governo. Como exemplos de projetos criados com o incentivo dos administradores locais, podemos citar o Projeto da Bacia do Jaguaré, na cidade de São Paulo, onde foram buscadas estratégias e estruturas de infraestrutura verde para gerar redundância no sistema de drenagem e melhorar o

manejo do volume e da qualidade da água da chuva (MARQUES et al., 2018). No Rio de Janeiro, especificamente na Baixada Fluminense, foi elaborado o Projeto Iguaçu, com soluções de macrodrenagem e medidas de aumento da permeabilidade das áreas da bacia (COPPE, 2013), porém poucas recomendações de ambos os projetos foram realmente implementadas.

Atualmente, está em implementação um projeto da Prefeitura da cidade de Niterói, no Estado do Rio de Janeiro, onde a revitalização da área ao redor da lagoa de Piratininga vem sendo realizada com conceitos de Infraestrutura Verde, com a instalação de jardins de chuvas, biovaletas, além de lagoas de retenção de água da chuva e outros sistemas de reservação de água e filtrantes do escoamento superficial (PRO SUSTENTÁVEL, 2024).

Recentemente, próximo à finalização desta tese, duas importantes legislações foram aprovadas sobre o tema, o Decreto Federal nº12.041, de 5 de junho de 2024, que institui o Programa Cidades Verdes Resilientes⁶, e a Lei Municipal da Cidade do Rio de Janeiro nº 8.465, de 2 de julho de 2024 que dispõe sobre a adoção de mecanismos sustentáveis para a gestão das águas pluviais, visando o controle de enchentes e alagamentos⁷.

De forma mais ampla, o Brasil carece ainda da aplicação das Soluções Baseadas na Natureza nos projetos e obras municipais de expansão ou requalificação urbana. Porém, considera-se que para além da necessidade de um programa institucional para as cidades ou mesmo para o país, um bom potencial para a implementação de SbN no Brasil está relacionado a técnicas que podem ser implantadas nos lotes de particulares, uma vez que não necessitam de grandes projetos ou vastas áreas para implantação da estrutura, e que se somadas em uma bacia hidrográfica, podem vir a contribuir no manejo das águas urbanas.

Esta tese se propõe a avaliar uma das Soluções Baseadas na Natureza com grande potencial para implementação nas cidades brasileiras, os Jardins de Chuva.

Uma espécie de trincheira de infiltração, porém que utiliza a vegetação para auxiliar na retenção água da chuva e da poluição difusa carregada após a precipitação úmida, para rios e lagoas.

⁶ https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/decreto/d12041.htm

⁷

<https://aplicnt.camara.rj.gov.br/APL/Legislativos/contlei.nsf/7cb7d306c2b748cb0325796000610ad8/d77cc9d0c119bac903258b4e0053d0d2?OpenDocument>

A seleção desta técnica ocorre principalmente pela familiaridade que da população com a implantação e manutenção de jardins ou hortas urbanas, incluindo o plantio de árvores nas calçadas, normalmente em frente às suas residências ou mesmo dentro de seus lotes. O Jardim de Chuva apresenta grande potencial por ser implementado em lotes particulares, com baixo custo, para a captação da água da chuva dos telhados, ou mesmo em áreas públicas, como calçadas, praças e estacionamentos. Assim como as demais técnicas de infraestrutura verde, o jardim de chuva também não deve ser considerado de maneira isolada como solução para a gestão das águas, e sim como mais uma infraestrutura, auxiliando na gestão da drenagem urbana.

Desta forma, a fim de avaliar a técnica quanto à sua funcionalidade e possibilidade de implantação no Brasil, esta tese foi organizada no formato de 3 (três) capítulos principais, conforme descritos a seguir.

No primeiro capítulo, foi realizado um referencial teórico sobre a funcionalidade de um jardim de chuva. Utilizou-se a técnica da revisão sistemática, com a qual foi possível compreender a atual situação das pesquisas sobre o tema no mundo e a capacidade desta infraestrutura verde em auxiliar na gestão da drenagem urbana.

No segundo capítulo, foi proposto um referencial prático para testar metodologias de análise apontadas na revisão bibliográfica, avaliando o funcionamento de um jardim de chuva em uma cidade tropical com alta densidade populacional, como o Rio de Janeiro. Para isso, foi analisado um jardim de chuva instalado na cidade do Rio de Janeiro, que recebia as águas pluviais do escoamento de alguns telhados de uma escola localizada na Zona Sul da cidade.

No terceiro e último capítulo, foi realizada uma análise propositiva, na qual, além de buscar entender as dificuldades para a disseminação da técnica no país, foram observadas outras experiências bem sucedidas para discutir o caminho necessário para disseminação da técnica nas cidades brasileiras. Isto foi feito por meio da aplicação de questionários a especialistas do tema, levantamento de legislações brasileiras e programas nacionais e internacionais.

A Figura 11 ilustra o fluxograma metodológico, representando de forma resumida a estruturação da tese, de acordo com o objetivo central da pesquisa sobre Jardins de Chuva, na perspectiva teórica e prática.

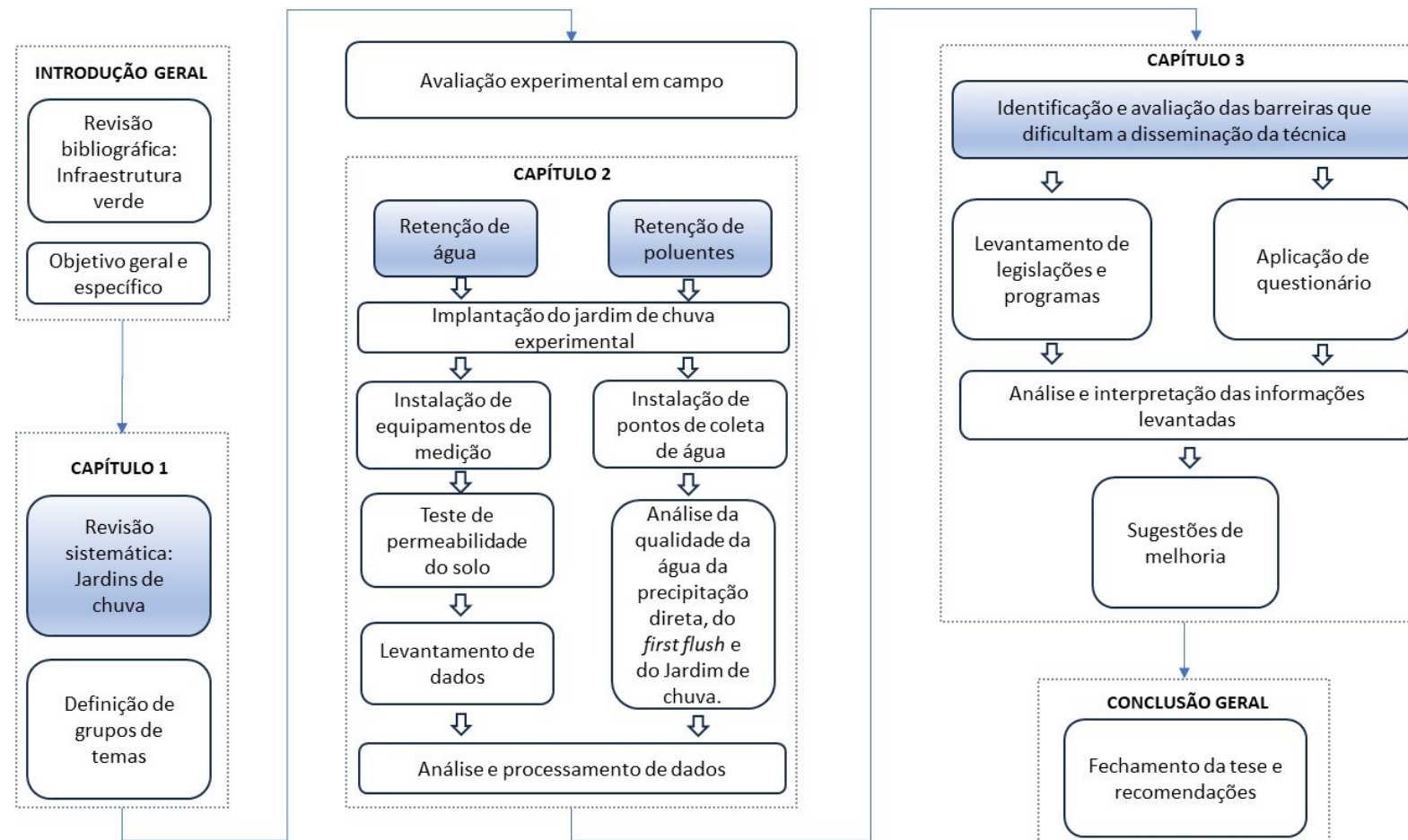
OBJETIVO GERAL

Avaliar a aplicabilidade dos Jardins de Chuva na cidade do Rio de Janeiro, a partir da análise de sua funcionalidade e principais barreiras à difusão da técnica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

(1) Avaliar a capacidade de retenção da precipitação úmida por um Jardim de Chuva existente em uma escola na cidade do Rio de Janeiro, (2) analisar a capacidade do Jardim de Chuva de reter poluentes oriundos do escoamento superficial, e (3) discutir os entraves para a implementação e difusão da técnica no Brasil.

Figura 11 - Fluxograma de estruturação da tese: Jardim de Chuva, uma análise teórica e prática para a implementação no Brasil.



CAPÍTULO 1 – Jardins de chuva: o estado da arte da técnica a partir de uma revisão sistemática.

1.1 INTRODUÇÃO SOBRE JARDINS DE CHUVA

Apesar de realizadas há praticamente 30 anos, as pesquisas sobre jardins de chuva podem ser ainda encontradas com objetivos dispersos, vinculados ao tempo de maturidade da pesquisa local sobre o tema. Isso pode ser observado nos trabalhos publicados, com os seguintes objetivos: (i) avaliar dados de efetividade das estruturas ou metodologias para medição dessa eficácia e (ii) melhorar a operação dos jardins de chuva, otimizando suas funcionalidades ao longo do tempo. Há ainda pesquisas voltadas para a aferição dos custos ou mesmo para compreender as formas de divulgação da prática (MA et al., 2018; MORASH et al., 2019; NICHOLS et al., 2021). Em outras revisões sistemáticas sobre o tema, os autores classificaram os artigos quanto ao tipo de infraestrutura, avaliando diversas infraestruturas verdes com base em suas capacidades de retenção de água e poluentes, processos de filtragem e perspectivas futuras (LI et al., 2021). Quando avaliado apenas um tipo de estrutura (técnica), como no caso de telhados verdes, são obtidas informações sobre as técnicas mais utilizadas para construção (SHAFIQUE et al., 2018). No entanto, essa revisão não foi encontrada para jardins de chuva, especificamente.

Este capítulo da tese tem como objetivo discutir a partir de uma revisão sistemática obtida nas plataformas Science Direct e Scielo o estado da arte de pesquisas internacionais sobre jardins de chuva, nos aspectos operacionais e funcionais da estrutura.

1.2 METODOLOGIA DA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE JARDINS DE CHUVA

Devido à alta velocidade na geração de conhecimento nos mais diversos campos da ciência, manter as revisões de bibliografia que se propõem a realizar o levantamento do estado da arte de um determinado tema, atualizadas e com conhecimento espacial não fragmentado, tem se tornado uma tarefa extremamente complexa (SNYDER, 2019).

A revisão sistemática de literatura é uma ferramenta chave para esse levantamento de informações científicas, que, no processo de investigação acadêmica, gerencia e analisa a diversidade do conhecimento, de forma clara, metódica e fiel (TRANFIELD et al., 2003).

Desta forma, a metodologia adotada neste capítulo da tese foi baseada na revisão sistemática da literatura, de acordo com o termo de indexação, no idioma inglês, a expressão *rain garden*, somente quando citada no título, no resumo ou nas palavras-chave dos artigos disponibilizados. Para a pesquisa, foram utilizadas as plataformas de pesquisas de periódicos Science Direct e do Scielo e, como critério de exclusão temporal, foram selecionados os artigos publicados nos últimos 10 anos, entre os anos de 2012 e 2022.

Como realizado por Guasselli e Casarin (2022), o processo de seleção ocorreu em duas etapas. Na primeira, foi realizada a análise dos títulos e resumos de todos os artigos coletados, aceitando ou rejeitando-os conforme os critérios de inclusão e exclusão. Após esta primeira etapa de avaliação, os estudos aceitos foram submetidos a uma segunda análise através da leitura completa de seus conteúdos.

A busca inicial resultou em um total de 108 artigos. Na análise dessa seleção inicial, foram contemplados aqueles que avaliaram a aplicação de um jardim de chuva, apresentando ou a metodologia construtiva, ou dados referentes ao seu impacto em relação ao meio, fosse por avaliação em campo ou simulações computacionais. Desta forma, foram excluídos artigos que não tivessem como foco os jardins de chuva, mas que apenas os citassem no contexto da Infraestrutura Verde, resultando, assim, na seleção final de 72 artigos.

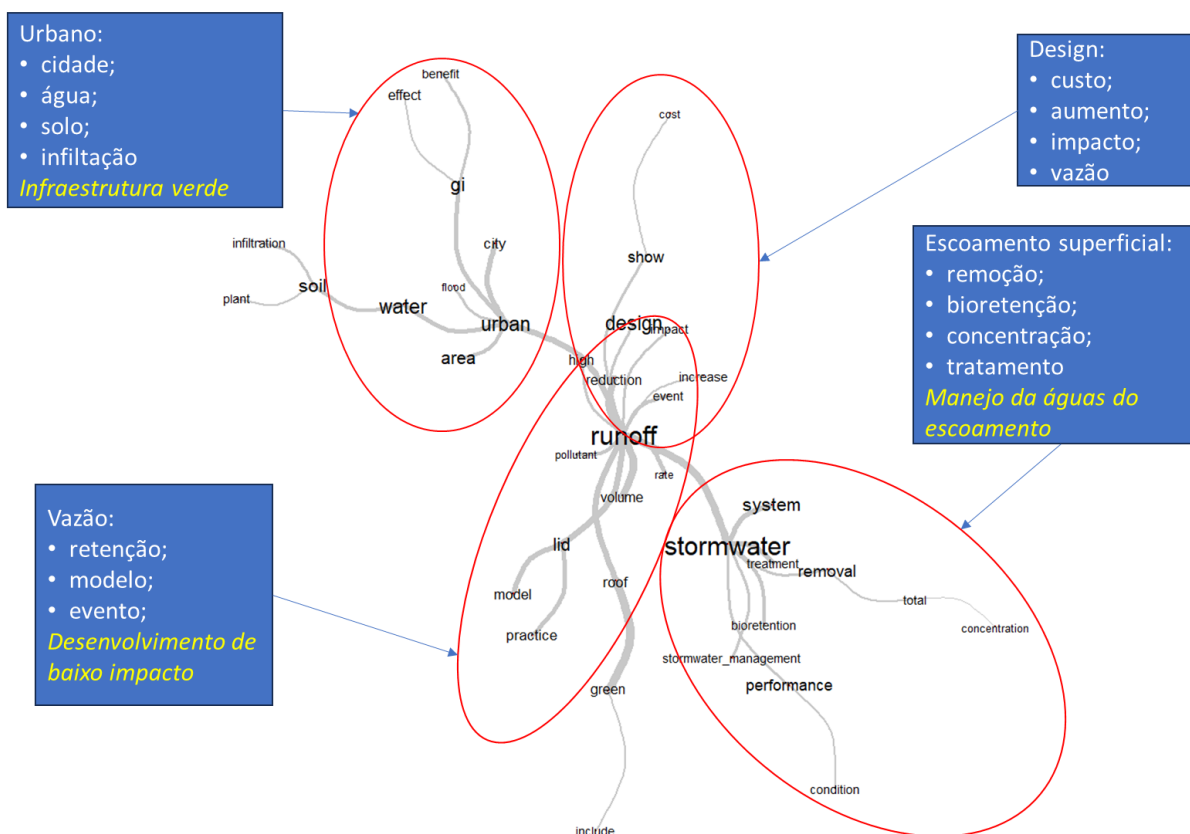
Com os artigos selecionados, foi utilizado o software IRAMUTEQ (RATINAUD, 2020) para análise dos títulos, resumos e palavras-chave, e obtenção do gráfico de similitude. A análise leva em consideração a quantidade de vezes que as palavras são citadas, possibilitando identificar as ocorrências

simultâneas entre as palavras (BRIGIDO & JUSTO, 2013), o que foi utilizado para a indicação de temas majoritários.

Ao analisar o gráfico gerado, foram encontrados quatro grupos que puderam ser relacionados: o primeiro com as palavras *urban* (urbano), *city* (cidade), *benefit* (benefício), *green infrastructure* (infraestrutura verde), *water* (água), *soil* (solo) e *infiltration* (infiltração). No segundo grupo foram incluídas as palavras *design* (projetar), *cost* (custo), *impact* (impacto), *increase* (aumento), *reduction* (redução) e *event* (evento). No terceiro grupo pode ser observada a ocorrência de palavras como *runoff* (escoamento), *volume* (volume), *roof* (telhado), *model* (modelo), *low impact development (LID)* (desenvolvimento de baixo impacto), *event* (evento) e *reduction* (redução). No quarto grupo as palavras *stormwater* (água da chuva), *removal* (remoção), *concentration* (concentração), *stormwater management* (manejo da água da chuva) e *bioretention* (bioretenção) (Figura 12).

Desta forma, houve a separação dos artigos em agrupamentos textuais em quatro grupos principais: (1) custos de instalação e operação; (2) capacidade de retenção de água; (3) controle de poluição e (4) aspectos construtivos e operacionais. Um quinto grupo foi criado para agrupar artigos que tratavam de jardins de chuva, porém sem métricas de monitoramento ou comparações de técnicas, denominando-se este grupo (5) como fatores socioambientais.

Figura 12 - Análise de Similitude gerado pelo programa IRAMUTEQ que auxiliou no agrupamento dos artigos nos 5 (cinco) temas definidos.



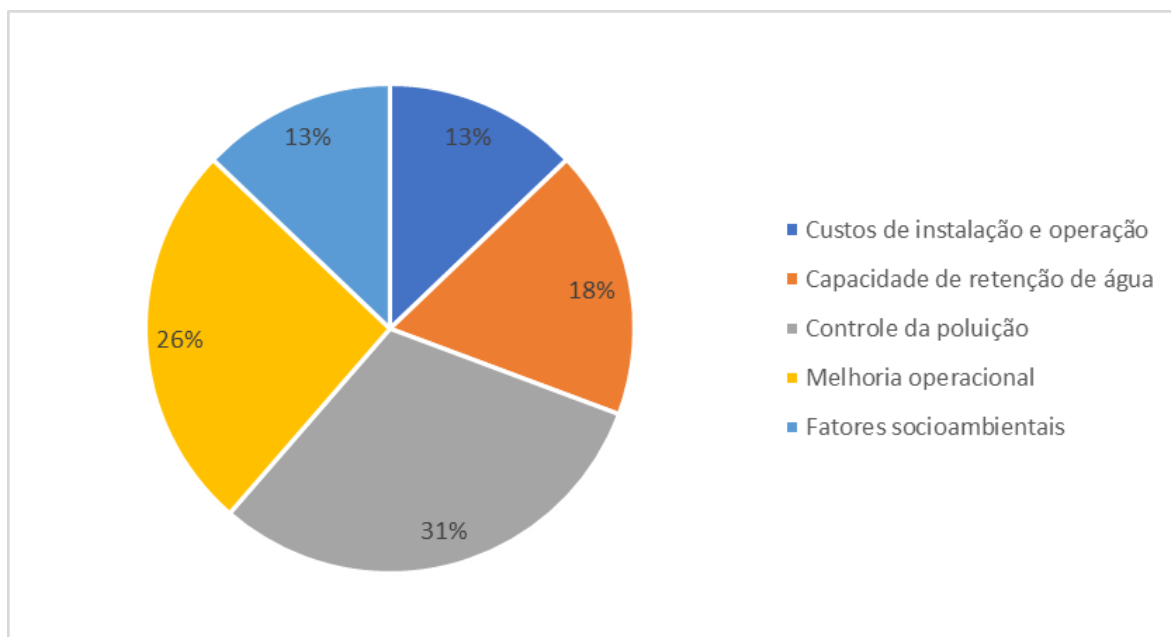
Fonte: o autor, com base nos artigos pesquisados em 2022.

Nos artigos selecionados, também foram identificados os resultados comparativos dos parâmetros de qualidade da água obtidos com a utilização da estrutura, bem como sua interferência na quantidade e vazão do escoamento e sua capacidade de retenção de água da chuva.

1.3 RESULTADOS DA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE JARDINS DE CHUVA

Ao observar os subtemas das publicações, para o universo de 72 artigos, a distribuição é a seguinte: custos de instalação e operação (9 artigos ou 13%); capacidade de retenção de água (13 artigos ou 18%); controle de poluição (22 artigos ou 31%); aspectos construtivos e operacionais (19 artigos ou 26%) e fatores socioambientais (9 artigos ou 13%), conforme a Figura 13.

Figura 13 - Distribuição de subgrupos em porcentagem de publicações selecionadas na revisão sistemática.



Fonte: o autor, com base nos artigos pesquisados em 2022.

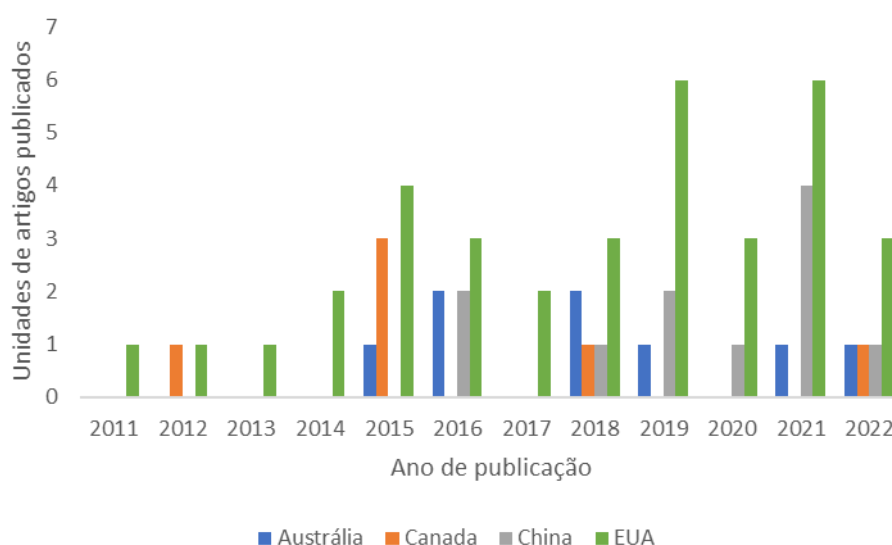
O estudo demonstrou que, nos últimos 10 anos entre 2011 e 2022, os Estados Unidos foram responsáveis por 35 publicações (48%) encontradas nas bases de dados, enquanto o Canadá teve 6 publicações (8%). Quando considerada a produção dos EUA e do Canadá conjuntamente, 26% das publicações eram sobre a capacidade de retenção dos jardins, 24% sobre controle de poluição, 21% sobre melhoria operacional, 17% de fatores socioambientais e os outros 12% sobre os custos operacionais. Apesar de a temática referente aos custos operacionais corresponder à menor quantidade de artigos, foi o tema mais abordado nos últimos 5 anos da pesquisa, com 1 (uma) publicação no quinquênio 2011-2016 e 5 (cinco) entre os anos 2017 e 2022. O mesmo ocorreu com o tema controle de poluição, que no primeiro quinquênio teve também 1 (uma) publicação e depois 9 (nove) publicações nos últimos 5 anos, indicando as preferências mais atuais de pesquisas nesses dois países.

O segundo país que mais publicou nas bases de dados nos anos pesquisados foi a China, com 11 publicações (15%), todas elas a partir de 2016. Este crescimento no número de publicações foi destacado por Chan et al. (2018), que descrevem o programa de Cidades Esponjas da China como a

possível solução para o uso sustentável da água e o controle de enchentes. Ao considerar a produção do conjunto de países como a China, Coreia e Singapura, a predominância das publicações foi sobre o controle da poluição (36%), seguido por custo de instalação (29%), melhoria operacional (14%), fatores socioambientais (14%) e capacidade de retenção (7%). Em relação ao tema custos de instalação, da mesma forma que se observou nos artigos publicados na América do Norte, a China, que não possuía nenhuma publicação no primeiro quinquênio da pesquisa, publicou 5 artigos sobre o tema entre os anos de 2016 e 2022, demonstrando também um aumento de interesse sobre essa temática.

Outros países que se destacaram na produção de artigos foram a Austrália e o Canadá, com 8 (11%) e 6 (8%) publicações cada, como se observa na Figura 14.

Figura 14 - Quantidade de publicações sobre o tema Jardim de Chuva pelos 4 países que mais publicaram entre os anos pesquisados, em porcentagem.



Fonte: o autor, com base nos artigos pesquisados em 2022.

Os demais países com publicações sobre o tema foram, na seguinte ordem decrescente: Coreia do Sul, Polônia, Itália e Suécia, todos com 3 (três) artigos publicados no período; Brasil, com 2 (duas) publicações, e Espanha, Noruega, Reino Unido, República Checa, Holanda e Colômbia, com 1 (uma) publicação cada. Cabe ressaltar que, apesar do histórico da Holanda na implantação de infraestruturas verdes nas cidades (STOBELAAR et al.,

2022), como no caso de Roterdã e Amsterdã (PAULIN et al., 2019), praticamente não foram encontrados artigos publicados por grupos locais sobre o tema.

Essa ordem de publicação pode ser explicada pelo fato de os Estados Unidos terem sido pioneiro na pesquisa sobre o tema, sendo responsáveis pelo desenvolvimento das principais técnicas, como jardins de chuva, biovaletas e outras, além de um dos principais softwares utilizados para modelagem e gestão de drenagem urbana, o SWMM. No entanto, uma vez que a tecnologia foi difundida, diversos outros países também implementaram suas políticas e projetos sobre a temática, adaptando os métodos desenvolvidos para suas realidades (CHAN et al., 2018; CUI et al., 2021; LIM & LU, 2016; PERALES-MOMPARLER et al., 2017).

1.3.1. Custos de instalação, operação e manutenção

Um dos grandes empecilhos citados na literatura para a adoção de jardins de chuva diz respeito aos custos para a instalação da estrutura, além da necessidade e custo de manutenção, embora a esta não seja muito diferente da de um jardim tradicional. Apesar disso, a manutenção de um jardim deve ser realizada frequentemente, sendo recomendada a designação de um responsável pela tarefa (NYC ENVIRONMENTAL PROTECTION, 2019).

Por isso, como apresentado acima, a avaliação dos custos referentes aos jardins de chuva tem sido frequentemente analisada.

Os custos de instalação de um jardim de chuva podem variar bastante, dependendo do tamanho do jardim, do país onde será instalado, do tipo de vegetação e solo utilizados, da presença ou não de sistema de drenagem e de automação para monitoramento e irrigação (SIWIEC et al., 2018).

A Agência Americana de Meio Ambiente (EPA) dos Estados Unidos estima que o custo básico para a instalação de um jardim de chuva com 18,5 m² (200 ft²) varie de US\$ 1.000 a US\$ 1.300, ou seja, de US\$ 54/m² a US\$ 70/m² (MENG; HSU, 2019). Valores semelhantes são referência para o programa de cidades esponjas da China, que estima em US\$ 50/m² o custo da instalação de um jardim de chuva (HAN et al., 2021; ROY et al., 2014). Na

Polônia, a estimativa é de US\$ 200/m². Este valor é 3 a 4 vezes maior que as estimativas anteriores, resultado que pode ser fruto da baixa quantidade de jardins implantados (SIWIEC et al., 2018). Já no Brasil, este custo foi estimado em US\$ 115/m², para um jardim construído para tempo de retorno de 2 anos (MELO et al., 2014).

Outro valor importante a ser considerado é o custo da manutenção do jardim. Apesar de poder apresentar grande variação, dependendo das diferenças de clima, solo e vegetação utilizada, além de uma eventual troca do sistema de drenagem ou de mecanismo de automação, este custo pode ser o mesmo da manutenção de um jardim comum (SIWIEC et al., 2018), estimado em US\$ 50/ano nos EUA (MENG E HSU, 2019) e US\$ 39/ano na China (HAN et al., 2021; ROY et al., 2014). No Brasil, não foram encontrados os valores de referência para manutenção específica de um jardim de chuva.

Os valores estimados para a instalação e manutenção de um Jardim de Chuva estão resumidos na Tabela 2.

Tabela 2 - Custos para instalação e manutenção de jardins de chuva em diferentes países.

PAÍS	VALOR (US\$)		REFERÊNCIA
	Instalação	Manutenção	
EUA	US\$ 54/m ² a US\$ 70/m ²	US\$ 50 / ano	Meng e Hsu, 2019
China	US\$ 50/m ²	US\$ 39 / ano	Han et al., 2021; Roy et al., 2014
Polônia	US\$ 200/m ²	-	SIWIEC et al., 2018
Brasil	US\$ 115/m ²	-	Melo et al., 2014
Valores médios	US\$ 107/m ²	US\$ 44,5 / ano	

Fonte: o autor, com base nos artigos pesquisados em 2022.

Em relação à manutenção, a opção de um sistema de automação, que requer investimento inicial mais alto na instalação do jardim, pode gerar economia ao longo do tempo, seja com pessoal ou com consumo de água. Em entrevistas realizadas com gestores de diferentes cidades dos EUA, constatou-se que eles aceitavam gastar até 13% a mais na instalação de um jardim incluir um sistema automatizado de irrigação (MENG E HSU, 2019).

Os custos de uma infraestrutura verde também podem ser analisados quanto aos seus serviços ambientais, relacionado à efetividade da estrutura na remoção de poluentes e na retenção de água, entre outros (HEIDARI et al., 2022). O custo energético da instalação de um jardim também vem sendo

tratado, incluindo itens como o transporte dos materiais para o local, o processo de mineração para produção da brita e a própria instalação (LAW et al., 2017).

Outra forma indireta de valoração de jardins de chuva diz respeito à valorização de imóveis ao redor das estruturas (HOOVER et al., 2020; ROY et al., 2014), mas esse cálculo feito isoladamente ainda não apresenta resposta clara. Outros parâmetros, associados aos benefícios ambientais, devem ser considerados para distingui-los das áreas verdes tradicionais (SIWIEC et al., 2018). Cabe ressaltar que o desconhecimento sobre a técnica é um fator que dificulta pesquisas sobre valorização de áreas urbanas (HOOVER et al., 2020).

Ao comparar diversas infraestruturas verdes, o jardim de chuva é considerado um dos mais eficazes. Seu custo-benefício é inferior apenas ao plantio de árvores nas cidades, sendo mais eficaz que os telhados verdes. Nesta avaliação de custo-benefício entre as infraestruturas verdes, destaca-se o asfalto poroso, que, além de ter alto custo de implantação, em alguns anos reduz bastante sua propriedade de permeabilidade (HEIDARI et al., 2022; LAW et al., 2017).

De acordo com Heidari et al. (2022), os jardins de chuva são estruturas mais vantajosas para instalação em pequenas áreas e lotes, devido à sua limitada capacidade de retenção de água. Desta forma, em áreas maiores como bacias hidrográficas, outras estruturas como lagoas de retenção, com maior capacidade em reter a água da chuva, devem ser mais indicadas.

Em simulações que avaliaram a combinação ideal de técnicas de SbN para as cidades-esponja na China, considerando a eficiência na remoção de poluentes, a capacidade de retenção de água e os custos de instalação, identificou-se que a melhor configuração envolve o uso de: jardins de chuva em 3,75% da área da bacia, 3,75% de telhados verdes e 7,5% de pavimento permeável. Essa composição resultou em uma redução de 73,7% no escoamento superficial e de 77,7% nos sólidos em suspensão (GAO et al., 2021).

1.3.2 Capacidade de retenção de água

A capacidade de retenção de água nos jardins de chuva é provavelmente o tema mais pesquisado dentre as Infraestruturas Verdes. Essas estruturas foram desenvolvidas para complementar a drenagem tradicional, reter a água da chuva e reduzindo sua velocidade de escoamento. Elas ocupam áreas menores do que os grandes tanques de armazenamento, como os piscinões do bairro da Tijuca, no Rio de Janeiro⁸.

Em simulações computacionais, a implantação de jardins de chuva em uma bacia é capaz de reduzir o escoamento superficial da bacia em 11 a 20% durante períodos de chuvas (KAYKHOSRAVI et al., 2022; LIU et al., 2022).

Quanto à capacidade de regulação hidrológica de um jardim, estes são mais efetivos na contenção de chuvas de baixa intensidade do que de alta intensidade, uma vez que, neste último caso, estruturas complementares seriam necessárias para reter e liberar o volume escoado lentamente (HEIDARI et al., 2022; QIN, 2020).

Entre os fatores que influenciam a capacidade de retenção da água de chuva nos jardins estão a profundidade do solo, a relação de tamanho entre a estrutura e a área de captação (WANG et al., 2019), o tipo de solo, a vegetação existente (JOHNSTON et al., 2020; YUAN & DUNNETT, 2018) e o clima da região (GÉHÉNIAU et al., 2015; KHAN et al., 2012).

Jardins com profundidade maior que 40 cm, razão entre o tamanho do jardim e a área de captação superior a 20%, e condutividade hidráulica do solo abaixo de 10 cm/h conseguem reter entre 21 e 75% da água da chuva, conforme resultados obtidos do modelo numérico *recharge* (WANG et al., 2019).

A vegetação exerce papel fundamental na retenção de água no jardim. Por exemplo, um jardim vegetado consegue reter 25% mais água em comparação com um jardim sem vegetação. Essa variação também é observada em jardins vegetados com diferentes espécies, com aumentos de 30 a 50% na capacidade de retenção de água, ampliada naqueles com maior densidade de raízes (JOHNSTON et al., 2020).

⁸ No bairro da Tijuca, na Cidade do Rio de Janeiro, foram construídos grande áreas de armazenamento de água da chuva para eventos extremos, na tentativa de reduzir os alagamentos históricos da praça da bandeira e regiões. No total eles tem a capacidade em reservar 118 milhões de litro de água. Fonte: <https://prefeitura.rio/fundacao-rio-aguas/reservatorio-da-praca-da-bandeira-completa-dez-anos-de-operacao/> (acesso em 20 de fevereiro de 2024).

Géhéniau et al. (2015), ao avaliar um jardim de chuva durante o inverno no Canadá, onde as temperaturas podem atingir 30 graus negativos, observaram que sua capacidade de retenção pode variar em até 60% entre o verão e o inverno. Conforme Khan et al. (2012), durante o inverno, o solo pode congelar devido às baixas temperaturas, o que reduz a capacidade de armazenamento de água do jardim.

Também é possível utilizar técnicas construtivas para ampliar a capacidade de retenção de um jardim, como a instalação de válvulas de controle de fluxo no tubo de saída da água, permitindo fechá-las para reter mais água ou abri-las quando a retenção não for mais necessária (GUO E LUU, 2015).

Para avaliar a eficiência de um jardim, é importante quantificar a taxa de evapotranspiração da vegetação utilizada. No entanto, por ser uma medida de difícil mensuração *in situ*, poucos estudos a consideram como parte dos dados observados no campo (EBRAHIMIAN, WADZUK E TRAVER, 2019).

Na tabela 3, apresenta-se um resumo dos resultados encontrados nos artigos pesquisados quanto à capacidade de retenção do volume escoado em um jardim de chuva.

Tabela 3 - Resumo de dados sobre as alterações na vazão do escoamento superficial, após a implementação de *um jardim de chuva*.

Autores / data	Cidade do estudo	País do estudo	Área de captação (m²)	Relação JC/área de captação (%)	Redução do escoamento superficial (%)
Pennino et al., 2016	Baltimore, Washington D.C e <i>Montgomery Country</i>	EUA	N.D.	N.D.	26 – 40
Autixier et al., 2014	Montreal	Canada	N.D.	N.D.	13 – 19
Ahiablame & shakya, 2016	Illinois	EUA	3.450.000	25	5 – 28
Géhéniau et al., 2015	Quebec	Canadá	3,8	6,4	54,8
Khan et al., 2012	Calgary	Canadá	320	10	91,5
Kaykhosravi et al., 2022	Toronto	Canadá	N.D.	N.D.	8,9 - 11,3
Johnston et al., 2020	Wisconsin	EUA	34,8	17	25
Liu et al., 2022	Xi'an	China	260.000	9,4	24
Reis & ilha, 2014	Campinas	Brasil	50	6	17,2
Valores médios				12	32

Legenda: N.D = não divulgado; JC = Jardim de chuva

Fonte: o autor, com base nos artigos pesquisados em 2022.

1.3.3 Controle da poluição

Jardins de chuva são considerados estruturas eficientes na remoção de poluentes físicos, químicos e biológicos transportados pela água da chuva, o que reduz a carga poluente do escoamento superficial direcionado para os rios urbanos.

Diversos fatores interferem na sua capacidade de retenção de poluentes, como a diversidade biológica, a composição do substrato, a temperatura do ar, a umidade do solo e o tempo de funcionamento da estrutura (RAINEY et al., 2022; SØBERG et al., 2017; WANG et al., 2019; YUE et al., 2018). Concentrações de *Escherichia coli*, *Campylobacter spp.*, coliformes

fecais, além de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, hidrocarbonetos de petróleo, chumbo, zinco, outros metais pesados e pesticidas, são retidos e absorvidos com emprego dessas estruturas (CHANDRASENA et al., 2016; GÉHÉNAU et al., 2015; MANQUIZ-REDILLAS; KIM, 2016; ZHANG et al., 2015).

A diversidade vegetal exerce influência no processo de remoção de poluentes. Jardins com várias espécies vegetais de diferentes portes, como rasteiras, arbustivas e arbóreas, têm maior capacidade de armazenamento de poluentes do que jardins com apenas uma espécie vegetal (MORASH et al., 2019).

Além de um maior número de espécies, é possível estimular processos de fitorremediação no jardim com a adição de lodo ativado, oriundo de estações de tratamento de esgoto (YUE; LI; JOHNSTON, 2018), uma vez que contribui para a propagação dos fungos micorrízicos, que auxiliam as plantas na absorção de nitratos (WINFREY et al., 2017).

Diferentemente das plantas, a fauna apresenta um padrão oportunista de povoamento dos jardins em função da maior sensibilidade das espécies. Sua ocorrência e diversidade estarão relacionadas ao tipo de poluente existente no solo, se orgânico ou inorgânico, se captado por telhados ou áreas utilizadas como estacionamento de veículos (HONG et al., 2018). De qualquer forma, após um ano de implantação, já é possível observar o aumento da riqueza e diversidade da biota do solo (BUZZARD et al., 2021). É o caso de jardins ricos em nitratos, nos quais os anelídeos⁹ são a espécie mais abundante (MEHRING et al., 2016).

Quanto à origem da água captada pelo jardim, aqueles oriundos de estacionamentos, que recebem óleos e outros resíduos de veículos automotores, apresentam três vezes mais sólidos em suspensão e taxa de carbono orgânico total, além de 50% mais de metais pesados, quando comparados com aqueles que recebem a água captada por telhados (HONG et al., 2018).

⁹ Encontram-se dentro deste grupo as minhocas, animais invertebrados, cilíndricos e de corpo mole, importantes para o solo por produzir o Húmus (fertilizante natural rico em micronutrientes) e contribuir na aeração do solo (RUPPERT; BARNES, 1996).

Porém, a origem dos poluentes pode não estar relacionada apenas à água proveniente do escoamento superficial. Por exemplo, no caso do fósforo, sua origem pode estar na adubação periódica realizada nos jardins (KARCZMARCZYK; KAMINSKA, 2020).

Quanto à presença dos poluentes, eles ainda podem se combinar quimicamente ou aderir fisicamente, como observado com metais pesados, cujas concentração aumenta proporcionalmente ao volume de sólidos suspensos (MANQUIZ-REDILLAS; KIM, 2016).

A remoção também depende do volume e da duração da precipitação, sendo os jardins mais eficientes na remoção de metais em chuvas com volumes superiores a 15 mm do que com 5 mm, devido à maior dissolução de metais nas chuvas mais intensas (MANQUIZ-REDILLAS; KIM, 2016). O contrário foi observado em um jardim de chuva experimental na Universidade de Cartagena, na Colômbia. Quando a entrada da água no jardim excedeu 0,32 L/min/m² ou para uma intensidade de 19,2 mm/h, a retenção de nitrogênio total tornou-se nula (FAJARDO-HERRERA et al., 2019).

Os poluentes carregados pela chuva, ao escoarem para um jardim de chuva, têm o primeiro contato com as camadas mais superficiais do solo, sendo normalmente retidos nos primeiros 20 cm de solo, quando se considera a retirada de carbono da atmosfera (AL-AMERI et al., 2018; KAVEHEI et al., 2019). No entanto, as concentrações de nitratos, fósforo e carbono orgânico total trazidas pelo escoamento superficial são maiores nos primeiros 50 cm de solo (GUO et al., 2019).

Cabe ressaltar, porém, que o tempo de vida do jardim pode influenciar negativamente sua capacidade de reduzir poluentes, como amônia, nitrato, sólidos totais, fósforo total e nitrogênio total (GUO et al., 2018).

A Tabela 4 foi elaborada com base nos artigos analisados, apresentados os resultados de remoção de poluentes com o uso de Jardins de Chuva (JC), incluindo autor e ano da publicação, local do experimento, área do JC em relação a área de captação, tipo de poluente analisado e sua respectiva taxa de remoção.

Tabela 4 - Resumo de dados sobre a remoção de poluentes do escoamento superficial, após a implementação de jardins de chuva, conforme os estudos levantados.

Autores / data	Cidade	Pais	Relação JC / captação (%)	Poluente analisado	Taxa de remoção de poluentes (%)
WILFONG et al., 2021	Maryland	EUA	N.D.	Cobre (Cu)	90 a 99
KHAN et al., 2012	Calgary	Canadá	N.D.	DBO	8
KHAN et al., 2012	Calgary	Canadá	N.D.	Fósforo total	0,6
WANG et al., 2019	N.D.	N.D.	N.D.	Fósforo total	67 (média)
WANG et al., 2021	Zhenzen	China	N.D.	Nitrogênio total	18 a 53,7
WANG et al., 2019	N.D.	N.D.	N.D.	Nitrogênio total	51 (média)
GU et al., 2019	Carolina do Norte	EUA	N.D.	Sal	0,03 a 4,75
LIM & LU, 2016	Singapura	Singapura	4	Sólidos totais	78
GÉHÉNIAU et al., 2015	Montreal	Canadá	6,4	Sólidos totais	74,5
KHAN et al., 2012	Calgary	Canadá	N.D.	Sólidos totais	96
Valores médios					50,8

Legenda: N.D. – não divulgado; JC = jardim de chuva.

Fonte: o autor, com base nos artigos levantados em 2022.

1.3.4 Aspectos construtivos e operacionais

Os jardins de chuva podem ser construídos de diversas formas e compostos por diversos materiais, a depender das técnicas e tecnologias disponíveis na região e da disponibilidade financeira. O projeto do jardim e os materiais utilizados podem impactar significativamente a capacidade de retenção de poluentes ou de água (TIRPAK et al., 2021; VALINSKI; CHANDLER, 2015).

Para aumentar a retenção de água e poluentes, já foram testados briquetes de madeira misturados ao solo da estrutura, o que apresentou resultados positivos para a retenção de metais pesados (GÉHÉNIAU et al., 2015). A instalação de válvulas para controle do fluxo de saída da água também aumenta a absorção dos metais pesados e outras substâncias pela estrutura (MA et al., 2018; WANG et al., 2021).

A instalação de um sistema de dispersão da água por dutos internos no jardim consegue reduzir em 18% a quantidade de nitrogênio total, quando comparado a um jardim sem este sistema (DIETZ; CLAUSEN, 2006).

Quanto ao tamanho da estrutura, um jardim com 10 a 15% da área de captação dos telhados aparenta ser suficiente e indicado para ser instalado nas edificações (BORTOLINI; ZANIN, 2018). Quando este tamanho é inferior a 10% da área de captação, os transbordamentos durante eventos hidrometeorológicos extremos tornam-se mais frequentes, reduzindo a eficiência da estrutura (BROWN & HUNT, 2011).

Pátios e estacionamentos geralmente possuem uma grande quantidade de resíduos de óleos e graxas. Desta forma, quando um jardim de chuva é instalado para receber água oriunda desses espaços, o jardim receberá uma carga desses poluentes de 1 a 3 vezes maior em comparação com o que receberia se sua contribuição fosse estritamente de telhados (HONG et al., 2018; ZHANG et al., 2022). Nessa situação, assim como a composição microbiana do jardim apresenta diferença, a fauna e a flora também são impactadas (BUZZARD et al., 2021; ZHANG et al., 2022), necessitando o uso de espécies mais resistentes a esses poluentes (FOWDAR et al., 2022; JOHNSTON et al., 2020). A seleção equivocada das espécies vegetais, além de reduzir a capacidade de retenção de poluentes e o processo de fitorremediação, pode inserir espécies por vezes tóxicas para pessoas ou animais (ANDERSON et al., 2015).

Em residências dos Estados Unidos, proprietários de lotes unifamiliares ainda optam por soluções que consideram mais baratas ou simples, como barris para o armazenamento de água da chuva ou trincheiras de infiltração, quando direcionam a água do jardim para a grama. Essas medidas são mencionadas como mais frequência do que próprios jardins de chuva, considerados mais complexos, caros ou desconhecidos (COLEMAN et al., 2018; SHIN; MCCANN, 2018).

Para definir as áreas mais adequadas para a instalação de um jardim, podem ser utilizadas metodologias de multicritérios, aumentando a eficiência da estrutura e seu ciclo de vida (DALL'ARA et al., 2019; JIA et al., 2016), e também o seu ciclo de vida (FLYNN E TRAVER, 2013).

1.3.5. Fatores socioambientais

O convívio de pessoas com jardins de chuva demonstra um processo de conscientização quanto à gestão da drenagem das águas pluviais e seus efeitos na infraestrutura urbana das cidades, principalmente quando as estruturas são planejadas e se encontram sinalizadas (CHURCH, 2015). Cidadãos mais preocupados com a qualidade da água e com as questões relacionadas às mudanças climáticas são os mais propícios a instalarem infraestruturas verdes, porém o desconhecimento técnico muitas vezes os impede de instalá-las (BADURA et al., 2021; URETA et al., 2021). Desta forma, a população se limita a implantar barreiras de retenção com a água captada pelos telhados, uma vez que acreditam que jardins de chuva são opções somente para grandes áreas, como estacionamentos e estradas (JOHNSTON et al., 2020).

Formas de estimular a adoção de jardins de chuva ou outras medidas de infraestrutura verde vêm sendo bastante debatidas ultimamente (CHAFFIN et al., 2016; PERALES-MOMPARLER et al., 2017). Acredita-se que uma vez que o poder público possui poderes limitados sobre as propriedades privadas, incentivos financeiros apresentam melhores resultados no estímulo para adoção das práticas, assim como a maior divulgação dos resultados obtidos na implementação da técnica (WILKERSON; ROMANENKO; BARTON, 2022).

Com esta finalidade, uma das estratégias utilizadas na Espanha foi demonstrar os resultados do monitoramento realizado pelo período de um ano em jardins de chuva, para convencer *stakeholders* sobre a eficiência da prática (PERALES-MOMPARLER et al., 2017). Além disso, a melhoria na comunicação e a simplificação na apresentação de resultados também foram consideradas benéfica na China (JIA et al., 2016).

Outro fator de destaque é a conscientização da população sobre a técnica, pois normalmente as pessoas têm maior interesse pelos benefícios estéticos do que pelos funcionais dos jardins, indicando para a implantação de novas estruturas, áreas que estejam degradadas, com histórico de distúrbios sociais (CHAFFIN et al., 2016).

Na China, onde foi instituído o programa de cidades esponjas, uma pesquisa realizada com questionários apontou que 76% dos entrevistados

afirmaram estar dispostos a contribuir mensalmente para a manutenção das estruturas sustentáveis (DING et al., 2019).

1.4 CONCLUSÃO DA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE OS JARDINS DE CHUVA

Observa-se que publicações mais atuais buscam estimativas sobre os custos dos jardins, especialmente quanto à sua manutenção. Diferentemente dos jardins comuns, que com o tempo atingem um estágio de equilíbrio ecológico, os jardins de chuva perdem sua capacidade de retenção de água, sendo necessárias manutenções periódicas.

Destaca-se a quantidade de publicações que buscam métodos que otimizem a avaliação de eficiência dos jardins de chuva em pequenas áreas, provavelmente como uma estratégia de popularização da técnica.

Embora os jardins de chuva sejam uma prática consolidada décadas, percebe-se que as pesquisas relacionadas a aspectos fundamentais, como controle de poluição e gestão de reservatórios, ainda estão em andamento globalmente. Poucos resultados alcançaram consenso, destacando a complexidade e a diversidade de abordagens nesses campos de estudo.

Os resultados de pesquisa neste tema são importantes pela necessidade de ampliar a divulgação da técnica e promover sua aceitação e implementação, principalmente como uma solução para a adaptação das cidades às mudanças climáticas.

O aumento da produção de artigos referentes ao tema observado na China está diretamente ligado ao amplo plano de reestruturação de suas cidades por meio do projeto de cidades esponjas, que adota diversas técnicas de infraestrutura verde no remodelamento urbano.

Nos últimos anos, têm sido evidenciados os problemas urbanos causados pelo adensamento populacional formal e informal, pela carência de planejamento e fiscalização e pela baixa cobertura do sistema de esgotamento sanitário. Essa conjuntura favorece a ocorrência de alagamentos e descargas de poluentes em corpos hídricos.

Dessa forma, destaca-se a importância da pesquisa sobre os jardins de chuva no âmbito local, com espaço e demanda para elaboração de estudos aplicados, principalmente em países tropicais como o Brasil.

Na pesquisa bibliográfica realizada, foram encontrados poucos estudos conduzidos por grupos de pesquisa brasileiros. Isso provavelmente se deve à escolha das plataformas de pesquisa de periódicos, como *Science Direct* e *Scielo*. Apesar de serem bastante divulgadas, essas bases de dados não contemplam as revistas em que os grupos nacionais de pesquisa costumam publicar. Sugere-se que, em um próximo trabalho, também sejam consideradas as bases de dados mais populares no Brasil, a fim de situar melhor a produção brasileira em comparação com a mundial.

CAPÍTULO 2 – Capacidade de retenção de água da chuva e redução da poluição difusa do escoamento superficial de um Jardim de Chuva instalado na Cidade do Rio de Janeiro.

2.1 INTRODUÇÃO SOBRE ANÁLISE DA CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA E DA POLUIÇÃO DIFUSA DE UM JARDIM DE CHUVA

Os jardins de chuva são uma técnica de infraestrutura verde que desempenha um papel importante no processo de retenção de poluentes e na redução do escoamento superficial da água da chuva. Segundo Heidari et al. (2022), o jardim de chuva tem sido considerado uma excelente alternativa para lotes particulares ou pequenas áreas, como calçadas, vias e estacionamentos.

Assim como outras técnicas de infraestrutura verde, ou estruturas alternativas de drenagem, o jardim de chuva deve ser utilizado como complemento ao sistema tradicional de drenagem urbana. Sua maior eficiência ocorre em eventos de precipitação de pequena e média intensidade, apresentando pouca efetividade em eventos extremos.

Estudos comprovam que a forma mais eficaz de implementar infraestrutura verde é adotar um conjunto de técnicas em vez de apenas uma isolada. Recomenda-se adotar um conjunto de técnicas, principalmente no manejo de água em escala de bacia hidrográfica, visando à restauração dos rios urbanos, que são os mais afetados pelo processo de degradação atualmente (QIN, 2020).

2.1.1 A avaliação de um jardim de chuva como medida complementar para melhoria da drenagem urbana

Diversas metodologias são utilizadas para testar a funcionalidade de um jardim de chuva. Elas incluem medições realizadas no local e simulações por meio de programas computacionais, que utilizam modelos matemáticos para prever o comportamento no campo com base em dados físicos e ambientais da área.

Em experimentos práticos, analisa-se o nível de água no solo e calcula-se a taxa de infiltração, juntamente com as vazões na entrada e na saída do jardim de chuva. Em estudos de qualidade, realiza-se a coleta de água do escoamento superficial ou da chuva, seguida pela análise de sua qualidade no jardim. Versões mais recentes de programas de modelagem, como o SWMM (*Storm Water Management Model*), têm a capacidade de analisar o impacto das estruturas na diluição ou concentração de poluentes (EPA, 2016).

A modelagem hidrológica tem sido utilizada para avaliar as condições do escoamento superficial e os impactos sobre a drenagem urbana, em função do uso, da ocupação e da permeabilidade do solo. De maneira simplificada, os modelos hidrológicos possibilitam a avaliação de cenários e a simulação de eventos hidrológicos (DECINA, 2012).

Diversos programas têm sido desenvolvidos para medir a capacidade de retenção de água em projetos de Infraestruturas Verdes (IV), como telhados verdes, pisos permeáveis, lagoas de retenção e jardins de chuva, no entanto cada um deles tem suas vantagens e limitações (BROEKHUIZEN et al., 2019). Um dos mais utilizados é o programa desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA), o SWMM, que em seu módulo 5.1 teve os parâmetros das Infraestruturas Verdes incluídos.

O SWMM é um programa bastante popular, sendo indicado principalmente para simulação de grandes áreas, como bacias hidrográficas. Para pequenas estruturas, como jardins de chuva, o HIDRUS-1D (ŠIMŮNEK et al., 2013) apresentar resultados precisos, pois é capaz de simular múltiplos eventos de chuva em estruturas individuais.

2.2 OBJETIVO DO CAPÍTULO SOBRE OS ASPECTOS QUANTITATIVO E QUALITATIVO DE UM JARDIM DE CHUVA

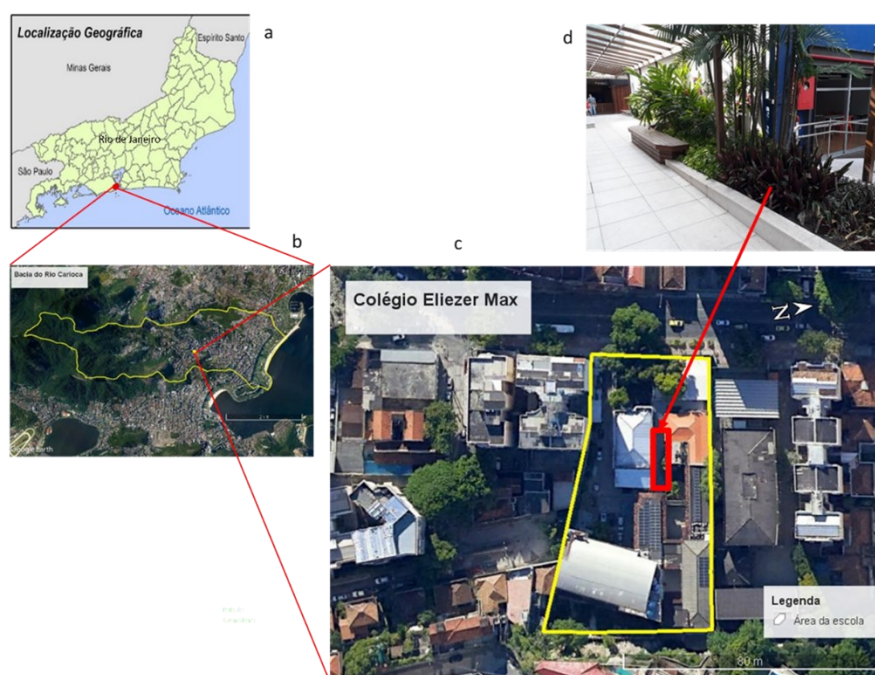
O objetivo deste capítulo é avaliar a capacidade de um jardim de chuva em reter a água da chuva e os poluentes transportados pelo escoamento superficial, provenientes de uma área de telhado e piso, em uma escola localizada na zona urbana da cidade do Rio de Janeiro-RJ.

2.3 METODOLOGIA DO EXPERIMENTO DE CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA E REMOÇÃO DE POLUENTES DE UM JARDIM DE CHUVA

2.3.1 Caracterização da área

Para a realização do experimento de campo, foi utilizado o jardim de chuva instalado no colégio Eliezer Max, localizado na zona sul da cidade do Rio de Janeiro, nas coordenadas geográficas 22°56'14.67"S e 43°11'23.65"O (Figura 15). O colégio situa-se no bairro das Laranjeiras, pertencente à bacia do Rio Carioca, que abrange também os bairros do Cosme Velho, Catete e Flamengo.

Figura 15 - Localização do Colégio Eliezer Max, bacia do rio Carioca, cidade do Rio de Janeiro.



Legenda: a – Cidade do Rio de Janeiro; b – Bacia do rio Carioca; c – área do Colégio Eliezer Max; d – Localização do Jardim de Chuva.

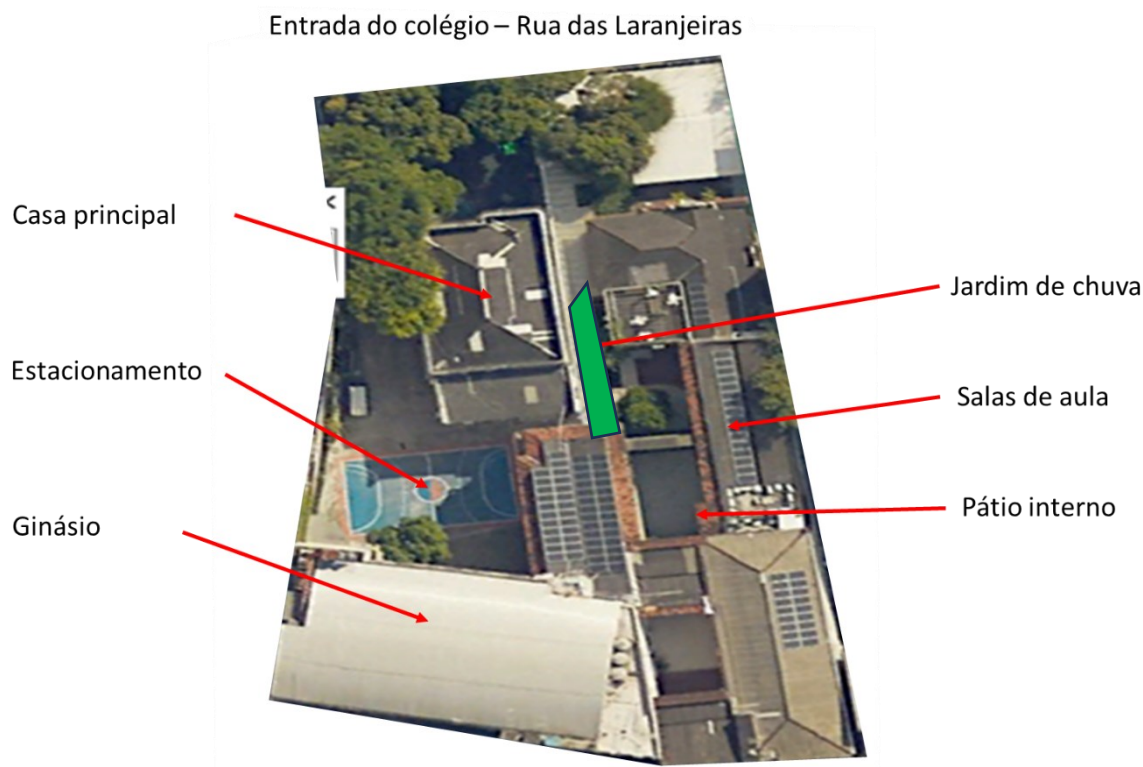
Fonte: O autor, com base em imagens de satélite do programa Google Earth, em mapa sem autoria definida e em fotografia retirada pelo autor, 2020.

O colégio Eliezer possui área aproximada de 3700 m², com área total construída de 4367 m², sendo 2000 m² de cobertura, dividida em quatro estruturas principais: uma casa principal, dois blocos de salas e um bloco grande, onde estão localizadas as salas de aula e o ginásio, que ocupa a parte superior do bloco, com área de captação de telhado de 600 m² (Figura 16).

Dessas edificações, o prédio principal possui captação da água do telhado direcionada para o sistema de drenagem urbana externa ao colégio. Os outros dois edifícios de salas de aula direcionam a água pluvial para o sistema que passa pelo pátio interno do colégio. Quase toda a água originária da parte alta do terreno e dos telhados de seus prédios é direcionada a esse sistema interno, que, por sua vez, se conecta à rede de drenagem externa à escola, na rua das Laranjeiras, no bairro de Laranjeiras. Parte dessas águas pluviais dos telhados é direcionada para um jardim localizado próximo à entrada do colégio. Cabe destacar ainda que o telhado do ginásio possui sistemas de calhas e tubulação de coleta da água da chuva, porém está inativo. A água pluvial é

encaminhada para o estacionamento do colégio, para então ser conduzida ao deságue no sistema de drenagem externo.

Figura 16 - Área do colégio Eliezer Max, em Laranjeiras, Rio de Janeiro, com a indicação das principais edificações existentes.



Legenda: polígono verde – Jardim de chuva.

Fonte: O autor, 2023.

A análise pluviométrica utilizou como referência os dados da Estação Pluviométrica (EP) de Laranjeiras nº 31, do Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro (ALERTA RIO, 2024), localizada nas coordenadas $-22,94056^\circ$ e $-43,18750^\circ$. Situada a cerca de 300 m da área do colégio, a EP de Laranjeiras apresenta uma série histórica de mais de 20 anos de dados pluviométricos discretizados a cada 15 minutos, desde outubro do ano 2000. Para garantir a integridade de anos hidrológicos completos, o presente trabalho analisou a série histórica de dados a partir de 2001.

Em dezembro de 2022, foi instalado no colégio um pluviômetro da marca ONSET (*rain gauge*). Desta forma, entre os meses de dezembro de 2022 e agosto de 2023, foi possível observar a consistência de dados de precipitação

e prevenir falhas nas medições, como o ocorrido em agosto de 2022, quando a estação do Sistema Alerta Rio não funcionou durante 15 dias (Figura 17).

Figura 17 - Pluviômetro instalado no Colégio Eliezer Max.



Fonte: o autor, 2022.

Os dados coletados pelo pluviômetro instalado no Colégio Eliezer Max foram comparados com os dados da estação do Sistema Alerta Rio, apresentando, em média, uma variação de 7% em relação aos dados do colégio (Tabela 5).

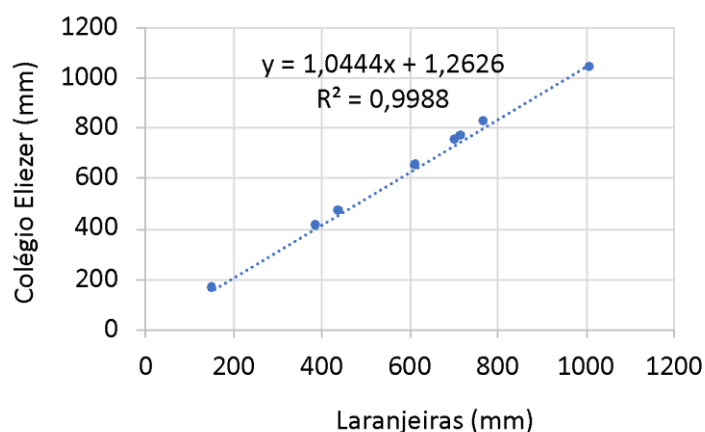
Tabela 5 - Precipitação mensal (mm) da estação pluviométrica de Laranjeiras (ALERTA RIO, 2023) e do pluviômetro instalado no Colégio Eliezer Max.

Ano	Mês	Laranjeiras (mm)	Colégio Eliezer (mm)	Variação (%)
2023	Janeiro	154,0	157,0	1,9
2023	Fevereiro	235,2	244,0	3,7
2023	Março	53,2	62,8	18,0
2023	Abril	173,4	184,4	6,3
2023	Maio	90,2	96,6	7,1
2023	Junho	13,8	15,6	13,0
2023	Julho	49,0	55,4	13,1
2023	Agosto	240,8	222,4	-7,6
	Média	126,2	129,8	7,0 ± 5,8
	Total	1009,6	1038,2	---
	Desvio Padrão	87,2	84,1	---

Fonte: o autor, 2023.

Para a avaliação da homogeneidade dos dados coletados por ambos os pluviômetros, foi utilizada a análise de dupla massa dos valores acumulados mensais de precipitação. Nessa análise, verificou-se a consistência entre os valores observados na estação de Laranjeiras e no pluviômetro instalado no Colégio Eliezer Max (Figura 18), com um coeficiente de determinação de 0,9988 (BERTONI; TUCCI, 2013). Isso demonstra que cerca de 99,88% das chuvas acumuladas mensais observadas em um dos locais apresentam elevada consistência em relação aos dados da estação vizinha.

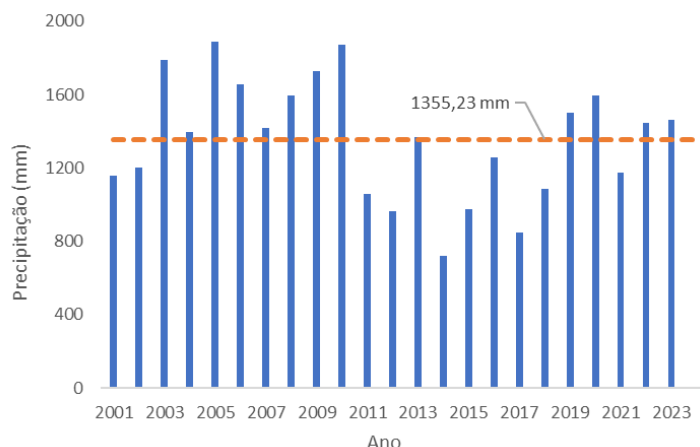
Figura 18 - Análise Dupla Massa de Consistência de Dados Acumulados Mensais da precipitação Observada na Estação de Laranjeiras e do Pluviômetro do Colégio Eliezer Max.



Fonte: O autor, 2024.

A Figura 19 apresenta o acumulado de chuva por ano obtido da estação de Laranjeiras (ALERTA RIO, 2024), entre os anos de 2001 e 2023. Dentre esses, os anos de 2005 e 2010 foram os que obtiveram os maiores registros, com 1.890 e 1.874 mm, respectivamente, enquanto o ano de 2014 foi o mais seco, com pouco mais 720 mm, da série histórica observada. A média pluviométrica obtida para a região de Laranjeiras, entre 2001 e 2023, foi de $1.355 \pm 269,9$ mm anuais. Com base nos dados da estação de Laranjeiras, a média pluviométrica mensal para a região foi de $112,9 \pm 24,8$ mm, o que caracterizou o período chuvoso entre os meses de novembro e abril e o período seco, entre maio e outubro (Figura 20).

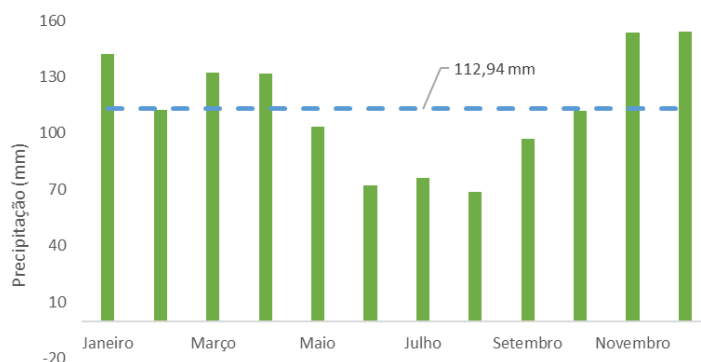
Figura 19 - Valores anuais de precipitação para a estação Laranjeiras entre os anos de 2001 e 2023.



Legenda: a linha tracejada indica a média dos valores de precipitação entre os anos de 2001 e 2023.

Fonte: Elaborado pelo autor com dados do Alerta Rio, 2023.

Figura 20 - Valores médios mensais de precipitação da estação pluviométrica de Laranjeiras entre os anos de 2001 e 2023.



Legenda: a linha tracejada indica a média dos valores obtidos.

Fonte: Elaborado pelo autor com dados do Alerta Rio, 2023.

O jardim de chuva utilizado para o experimento havia sido instalado sem esse propósito pela equipe do colégio Eliezer Max, uma vez que se tratava de um jardim antigo, cujas drenagens do telhado foram direcionadas para o seu interior, exatamente com o intuito de reduzir a quantidade de água no pátio da escola durante eventos de chuva, sem que se tivesse conhecimento das pesquisas e dos termos utilizados para essa prática.

Em sua composição vegetal, foi possível identificar algumas espécies vegetais comumente utilizados no paisagismo urbano, como jibóia (*Epipremnum sp.*), lambari (*Tradescantia zebrina*), Alpinia vermelha ou

gengibre vermelho (*Alpinia purpurata*), abacaxi-roxo (*Tradescantia spathacea*), areca-bambu (*Dyopsis lutescens*) e uma pteridófila de folha larga não identificada (Figura 21).

Figura 21 - Plantas ornamentais utilizadas no jardim de chuva do Colégio Eliezer Max.



A – À esquerda, a alpinia. No alto, à direita, a areca bambu. Na parte inferior da imagem, a jibóia. À direita, ao centro, a pteridófila.

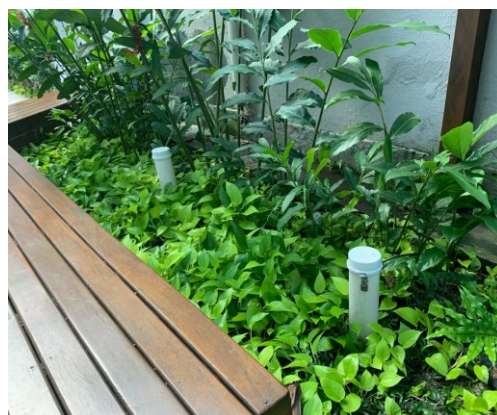


B – O lambari e o abacaxi roxo.



C – Ao centro, a areca bambu. Na parte inferior da imagem, o lambari.

Fonte: o autor, 2022.



D – A jibóia na parte inferior e a alpinia vermelha na parte superior da imagem.

O jardim tem área total de 19,5 m² e área de captação de chuva de 169 m², compostos por 65 m² de telhado com telhas de barro, 45 m² de piso de cimento na área de lazer localizada na laje do prédio e por 59 m² de telhado de vidro, que cobre todo o jardim e parte da entrada do colégio, com área de contribuição destacada na Figura 22, na coloração azul.

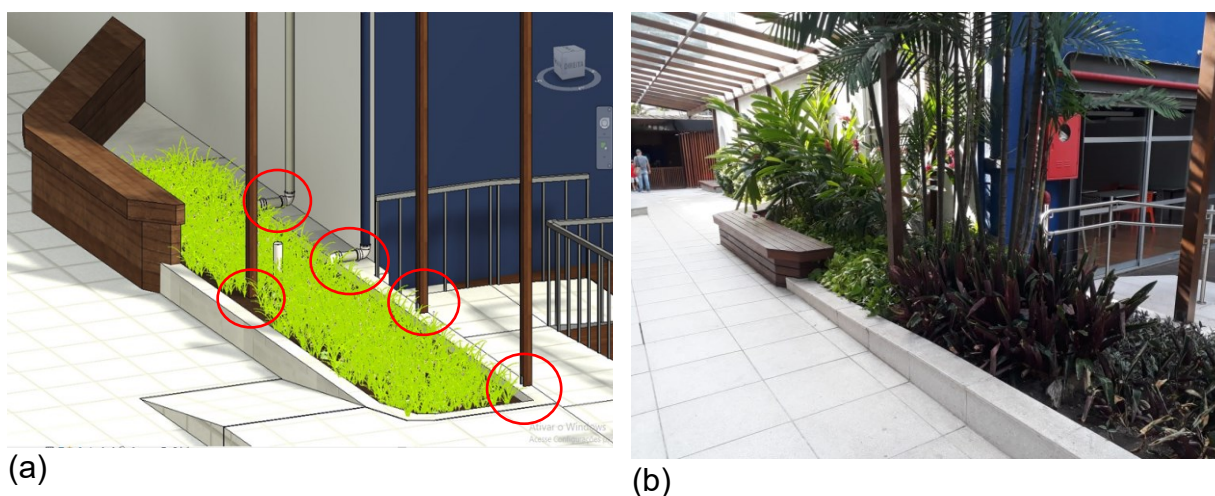
Figura 22 - Área de contribuição para o jardim de Chuva instalado no Colégio Eliezer Max, Rio de Janeiro, RJ.



Fonte: o autor, com base em imagem obtida pelo software Google Earth, 2022.

A água proveniente tanto da laje quanto das telhas é conduzida para o jardim por meio de tubos de 100 mm. Esses tubos têm a função de captar a água da chuva e direcioná-la para o interior do jardim. A drenagem do telhado de vidro é efetuada por condutores verticais localizados em *shafts* nos pilares de sustentação. Esses condutores são construídos com tubos retangulares de alumínio, desempenhando dupla função, tanto como suporte estrutural quanto como drenagem da água (Figura 23).

Figura 23 - Imagens do jardim de Chuva do Colégio Eliezer Max.



Legenda: (a) – Ilustração do JC com os círculos vermelhos representando as tubulações de descida da drenagem de volumes afluentes ao jardim de chuva provenientes dos telhados. No centro do jardim é possível observar o tubo utilizado para coleta de volume subsuperficial no fundo do jardim. (b) – Fotografia real do local.
Fonte: Rafael Callado, 2021 e o autor, 2021.

A relação da área do jardim de chuva com a área de captação do escoamento superficial é de 11,2%, o que está dentro dos parâmetros recomendados quanto à eficiência de jardins de chuva, que deve ser de 10% a 15% da área de captação de água da chuva (BORTOLINI; ZANIN, 2018; BROWN; HUNT, 2011).

Para a análise da capacidade de retenção de água pelo jardim de chuva, diferentes metodologias foram avaliadas com o objetivo de adotar uma estratégia onde elas atuassem de forma complementar. Os trabalhos encontrados que realizaram o monitoramento de jardins de chuva, na maioria das vezes, utilizavam programas de modelagem computacional para prever o comportamento da estrutura. Aqueles que efetivamente mediram a dinâmica da água no solo utilizaram jardins experimentais construídos especificamente para experimentação, com drenagem controlada, poços de monitoramento e vertedouros.

Desta forma, como não havia a possibilidade de medir diretamente a entrada de água no jardim e a quantidade ou vazão de saída, foram estimados os valores de entrada e saída, conforme cálculos conhecidos para a capacidade de retenção de água em trincheiras de infiltração.

Para avaliar o comportamento do grau de saturação do solo no jardim, foram utilizadas três estratégias. A primeira foi o método racional para a quantificação da vazão de entrada do jardim e sua capacidade de retenção de água. A segunda foi a utilização de um linígrafo para medir o nível de água no solo do jardim. A terceira estratégia foi a modelagem hidrológica numérica, que determinou, de forma independente, a intensidade de chuva que um jardim, construído com finalidades paisagísticas e adaptado para o recebimento da drenagem de parte da escola, teria a capacidade de absorver sem que ocorresse extravasamento.

Como medida complementar, a taxa de permeabilidade do solo foi medida em campo, por meio da metodologia de duplo anéis concêntricos, conforme metodologia proposta pelo Manual de Irrigação da Universidade Federal de Viçosa (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2008).

2.3.2 Teste de permeabilidade do solo

Ao atingir o solo, uma precipitação com intensidade menor do que a capacidade de infiltração, toda a água penetra no solo, de modo a ocasionar uma progressiva diminuição da própria capacidade de infiltração (TUCCI, 2020). Desta forma, foi realizado o teste dos anéis concêntricos no solo do jardim (Figura 24), como medida de obtenção da capacidade de infiltração da água no solo, segundo metodologia indicada por Bernardo et al. (2008).

Para o cálculo da taxa de infiltração foi utilizada a equação (1) de Horton.

Equação 1 - Equação de Horton utilizada para o cálculo da velocidade de infiltração.

$$f = fc + (f_0 - fc) \cdot e^{-\beta t} \quad (1)$$

Onde: f = a taxa de infiltração no tempo; fc = capacidade de infiltração final; f_0 = taxa de infiltração no instante inicial; β = é uma constante empírica para cada curva, ou constante de Horton, e t = tempo de chuva transcorrido a partir da saturação.

Figura 24 - Ensaio de anéis concêntricos realizado no jardim de chuva do Colégio Eliezer Max.



Legenda: Anéis concêntricos em campo e esquematizado, apresentando suas medidas no desenho. A linha tracejada é referente ao limite de profundidade que o equipamento deve ficar enterrado no solo. Colégio Eliezer Max, Rio de Janeiro – RJ.

Fonte: Fotografia e desenho esquemático elaborado pelo autor, 2022.

2.3.3 Caracterização do solo

Foi realizada uma coleta pontual de solo, com três amostras para confecção de uma amostra composta, formando no total 700 g do solo amostrado, e encaminhada para o laboratório da ESALQ¹⁰ conforme metodologia proposta no manual de coleta da Embrapa (2011). O solo foi analisado quanto à sua granulometria, conforme as classes de diâmetro (mm) utilizadas pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA – *United States Department of Agriculture*) e subdividido em cinco frações de areia: muito grossa (2 a 1 mm); grossa (1 a 0,5 mm); média (0,5 a 0,25 mm); fina (0,25 a 0,10 mm) e muito fina (0,10 a 0,05 mm).

Com o auxílio de uma escavadeira manual, foi realizada a perfuração do solo até a profundidade de até 100 cm, de maneira a caracterizar as camadas do solo.

O solo do jardim é composto por uma camada, com a profundidade de até 100 cm, composta por 48% de areia grossa, 14% de areia fina, 14% de silte e 23% de argila, com densidade do solo de 1,4 g/cm³. Esta camada foi preparada durante o processo de construção do jardim, com composição adequada para um canteiro de plantas, com elevada capacidade de infiltração. Abaixo desta camada do jardim foi possível observar o solo originário da região, com coloração laranja característica dos Latossolos presentes nessas áreas. Essa camada mais profunda não foi amostrada por ser considerada de menor influência no jardim, uma vez que pode ser considerada como uma camada com potencial de infiltração, sem rocha aparente ou lençol freático aflorante.

Com uso do programa *Hydrus* 1D, que possui classificações de solo pré-determinadas, este latossolo foi considerado na composição de 15% de areia, 35% de silte e 50% de argila, com densidade de 1,3 g/cm³.

¹⁰ Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

2.3.4 Intensidade da precipitação

Para medir a capacidade de armazenamento de água pelo jardim de chuva, foi necessário calcular a intensidade de precipitação para a área que se pretende analisar. A intensidade da precipitação é calculada pelo valor da precipitação por unidade de tempo, na relação conhecida como intensidade-duração-frequência, também chamada de equação IDF. A fórmula que estabelece essa intensidade é variável de acordo com a região, uma vez que é influenciada por parâmetros empíricos locais, o intervalo de retorno do evento a ser considerado e a duração prevista para uma chuva de projeto (TUCCI, 2020).

No presente trabalho, a IDF foi calculada a partir da Instrução Normativa nº 04/2010 (Rio-Águas, 2019) para a cidade do Rio de Janeiro, onde foram utilizados os dados da região do Jardim Botânico (tabela 6), pela proximidade com o bairro de Laranjeiras, foco deste estudo.

Equação 2 - Equação IDF ou equação de Intensidade-duração-frequência de chuva.

$$i = \frac{aTr^b}{(t+c)^d}$$

(2)

Onde: onde i = intensidade pluviométrica em mm/h; Tr = tempo de recorrência em anos; t = tempo de duração da precipitação em minutos. a, b, c e d, valores dos coeficientes conforme apresentado no Tabela 6.

Tabela 6 - Valores dos coeficientes de chuvas IDF descritos pela Rio-Águas (2019) para a cidade do Rio de Janeiro.

Pluviômetro	a	b	c	d
Santa Cruz	711,3	0,18	7,00	0,687
Campo Grande	891,6	0,18	14,0	0,689
Mendanha	843,7	0,17	12,0	0,698
Bangu	1208	0,17	14,0	0,788
Jardim Botânico	1239	0,15	20,0	0,740

Pluviômetro	a	b	c	d
Capela Mayrink	921,3	0,16	15,4	0,673
Via11(Jacarepaguá)	1423	0,19	14,5	0,796
Sabóia Lima	1782	0,17	16,6	0,841
Realengo	1164	0,14	6,96	0,769
Irajá	5986	0,15	29,7	1,050
Eletrobrás -Taquara	1660	0,15	14,7	0,841

Legenda: a, b, c e d são os parâmetros divulgados de cada região, para o uso no cálculo do IDF. Realçada a estação utilizada na tese.

Fonte: Adaptado pelo autor com base nos dados da Rio-Águas (2010).

2.3.5 Cálculo para a entrada de água no jardim

Os volumes de entrada ou afluentes ao jardim de chuva foram calculados utilizando o Método Racional. Este método é utilizado para pequenas bacias hidrográficas, com área igual ou inferior a 2 km², e também é utilizado para estudos com jardins de chuva, tendo como objetivo converter a intensidade de precipitação (mm/h) em vazão (m³/s) (Equação 3). Além do Método Racional, este estudo também utilizou a metodologia *Rain Envelope Method* ou Método do Envelope de Chuva, ou Curva Envelope, para o dimensionamento do jardim de chuva, adaptado aos critérios de volume de armazenamento de trincheiras de infiltração.

Conforme Tucci (2009), no processo de transformação da precipitação em vazão, é essencial considerar que a duração da precipitação intensa de projeto deve ser equivalente ao tempo de concentração. Neste contexto, não se deve levar em conta o volume de cheia, nem a distribuição temporal das vazões.

Equação 3 - Cálculo da vazão pelo método racional.

$$Q = 0,278.C.I.A$$

(3)

onde: Q = a vazão máxima (m³/s); C = o coeficiente de escoamento; I = a intensidade da precipitação (mm/h); A = a área da bacia (Km²).

Dessa forma, foi obtido o volume de armazenamento de água de chuva no jardim, levando em consideração o volume precipitado efetivo e o volume infiltrado, conforme descrito nas equações 4, 5, 6 e 7.

Equação 4 - Fórmula para cálculo da capacidade de retenção do Jardim de Chuva pelo método racional.

$$V_{armz} = V_{prec} - V_{inf} \quad (4)$$

onde: V_{armz} = volume de armazenamento; V_{prec} = volume precipitado; V_{inf} = volume infiltrado

Fonte: OHNUMA JR e MENDIONDO, 2015

Para o cálculo do volume precipitado é necessário considerar os coeficientes de intensidade, duração e frequência (IDF) da chuva na região (Tabela 6), assim como a duração da precipitação, considerada de 30 minutos, o tempo de recorrência (2 anos) e a área de contribuição (169 m²).

O cálculo do volume de infiltração considera o volume da trincheira (jardim de chuva), a infiltração acumulada e a sortividade do solo. Ainda deve ser adotado um coeficiente de segurança pré-definido no cálculo, pelas equações 5, 6 e 7.

Equação 5 - Cálculo do volume infiltrado.

$$V_{inf} = H \times L \times I_{ac} \quad (5)$$

onde: V_{inf} = volume infiltrado; H = altura da trincheira; L = comprimento da trincheira; I_{ac} = Infiltração acumulada.

Fonte: OHNUMA JR e MENDIONDO, 2015

Para o cálculo da infiltração acumulada, é considerada a sortividade do solo corrigida pelo fator de segurança, considerando a duração da precipitação, conforme a equação 6.

Equação 6 - Infiltração acumulada.

$$I_{ac} = S' \sqrt{\Delta t} \quad (6)$$

onde: I_{ac} = infiltração acumulada; S' = sortividade do solo com fator de segurança; Δt = duração da precipitação.

Fonte: OHNUMA JR e MENDIONDO, 2015

O fator de segurança utilizado para o cálculo da sortividade garante o não transbordamento da trincheira e leva em consideração os valores de precipitação da região (Equação 7).

Equação 7 - Cálculo do valor de segurança da sortividade do solo.

$$S' = S/FS \quad (7)$$

onde: S' = valor da sortividade do solo com o fator de segurança; S = valor da sortividade; FS = Fator de segurança tabelado.

Fonte: OHNUMA JR e MENDIONDO, 2015

Os valores do coeficiente de escoamento para coberturas de telhado variam de 0,75 a 0,95, sendo o valor 0,85 frequentemente recomendado em cálculos. Portanto, este valor foi adotado neste trabalho como coeficiente de escoamento para o telhado com telhas de barro. Para a cobertura da laje construída em cimento, foi adotado o coeficiente de 0,70, e, para o telhado de vidro, o coeficiente de 0,95, todos calculados em razão da área total do escoamento (169 m²).

2.3.6 Nível de água do solo

No jardim de chuva, foi instalado um tubo de PVC perfurado nas laterais e com o fundo aberto. Tanto nas laterais quanto no fundo, o tubo foi envolto com manta geotêxtil, permitindo a passagem da água e a retenção de particulados do solo. Além disso, foi instalado uma tampa removível na parte superior do tubo possibilitar a coleta de amostras de volumes precipitados efetivos. O tubo foi enterrado verticalmente no solo até 100 centímetros de profundidade, com a instalação de um linígrafo de pressão para medição do nível de água no solo, conforme metodologia adotada em estudos de vazão em jardins de chuva (Figura 25).

Figura 25 - Tubo instalado no centro do jardim com perfurações laterais e fundo aberto, envolto em manta geotêxtil.



Legenda: Tubo a ser instalado envolto em manta geotêxtil, e extração de dados para o computador no jardim de chuva experimental.

Fonte: O autor, 2023

Entre os meses de setembro de 2021 e julho de 2022, foi utilizado o linígrafo *Levellogger 5* da Solinst, modelo 3001, programado para medições a cada minuto, com capacidade de armazenamento de dados por até 25 dias consecutivos e duração da bateria interna de 5 anos (Figura 26a). Entre os meses de março e agosto de 2023, foi instalado o linígrafo de produção nacional da empresa JCTM, conectado a um *data logger* com alimentação de energia externa e memória expansível, permitindo monitoramento em tempo real, desde que haja um ponto fixo de internet (Figura 26b).

Figura 26 - Linígrafos para medição de nível d'água armazenado no jardim de chuva.



(a)

(b)

Legenda: (a) – Linígrafo da empresa Canadense Solinst. (b) – Datalogger com linígrafo da empresa JCTM.

Fonte: O autor, 2023.

2.3.7 Comportamento da água no solo por meio de modelo computacional

Para simular o comportamento de um jardim de chuva em relação à sua capacidade de armazenamento e transmissão do escoamento superficial, foi utilizado o software *Hydrus-1D*, que resolve numericamente a equação de Richards.

No estudo, foi selecionado o modo de fluxo de água do software. A unidade adotada foi o centímetro. Dessa forma, para parametrização do solo, assumiu-se uma camada única de meio poroso de 100 cm de profundidade.

Levando em consideração que o modelo divide automaticamente a profundidade do perfil em 100 células iguais, com 101 nós ou pontos de observação, foram estipulados dois pontos principais: o ponto 1, localizado na superfície, e o ponto 101, no fundo do jardim (Figura 27).

Figura 27 - Interface do Hydrus-1D apresentando o perfil discretizado em 100 intervalos.



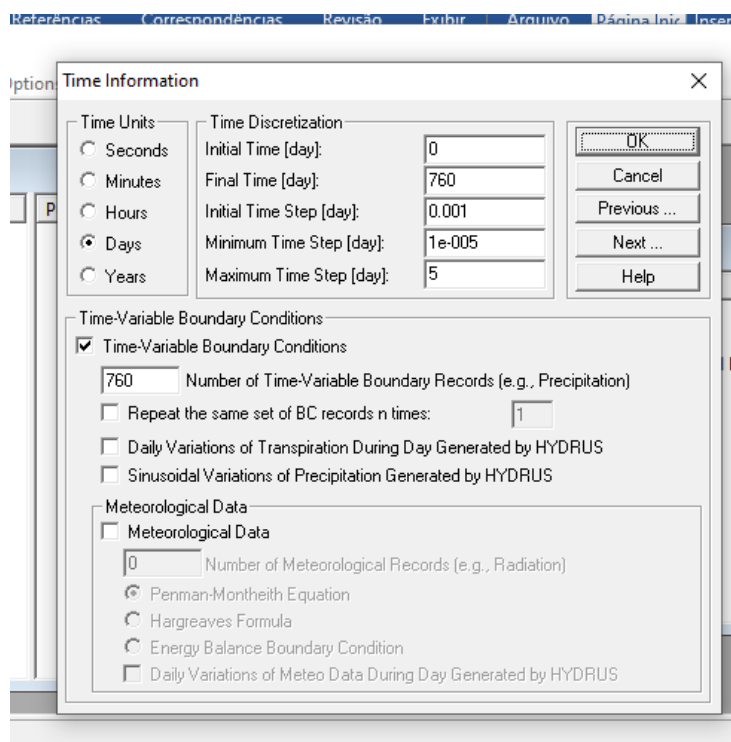
Quanto ao período de tempo analisado na simulação, foram utilizados, no programa, os dados referentes ao período de coleta entre os meses de agosto de 2021 e agosto de 2023. Para os valores de precipitação diários, foram utilizados os registros da estação pluviométrica de Laranjeiras, do Sistema Alerta Rio (2024), da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro.

Após os resultados obtidos com a análise do jardim de chuva durante os anos de 2021 a 2023, optou-se por complementar o trabalho com a análise de um evento extremo, a fim de obter um maior entendimento da resposta do jardim de chuva em relação a capacidade de armazenamento de água. Para tal foi selecionado como evento intenso o ocorrido entre os dias 7 e 8 de fevereiro de 2023, onde em 24 h acumulou 119 mm de chuvas. Desta forma, foi selecionado o período de 8 h antes do início do evento, que durou aproximadamente 8 h, e 7 h depois, totalizando uma amostragem de 24 h, para melhor compreender a resposta do solo à chuva intensa.

Ao utilizarmos dados variáveis de precipitação, é necessário definir a condição de contorno (*Time Variable Boundary Condition*) para permitir a inclusão de valores diários de precipitação e evapotranspiração.

Para a análise ao longo de todo o período do estudo, foram discriminados 760 dados de precipitação, e os *print times* foram selecionados automaticamente pelo programa (Figura 28).

Figura 28 - Janela para inclusão das informações sobre o período dos tempos que serão analisados, do programa *Hydrus 1D*.



Fonte: o autor, 2024.

Para apresentação dos resultados em tempos pré-determinados durante o intervalo de 24 horas, isto é, os *print times*, foram definidos intervalos de 6 horas após o início da análise, com apresentação dos resultados nos tempos de 6, 12, 18 e 24 horas.

Para o modelo hidráulico utilizado na análise de retenção de água, foi selecionada a equação de Van Genuchten-Mualem (ŠIMŮNEK et al., 2013).

Na definição dos parâmetros hidráulicos do solo (*Soil hydraulic Model*) foram inseridos no módulo *Rosetta Lite Version 1.1*, que faz parte do *software* RETC, os valores obtidos através da análise granulométrica realizada em laboratório, os quais foram recalculados pelo programa.

Como condições de contorno para o fluxo de água, no limite superior foi estabelecida uma condição de contorno (*Boundary Condition*) atmosférica com escoamento superficial, enquanto no limite inferior do perfil, considerou-se a condição de drenagem livre.

Por não haver avaliação direta da evapotranspiração na estação de Laranjeiras, área do estudo, foi adotado o método de Thornthwaite. Esse método utiliza os dados da temperatura média mensal para estimar a evapotranspiração na área selecionada (BARRETO et al., 2009). O método foi desenvolvido para considerar um dia de 12 horas de luminosidade e temperatura média mensal inferior a 26°C, sendo o resultado corrigido conforme as variações de temperatura.

Para o cálculo da evapotranspiração, foram utilizados os dados da estação meteorológica do INMET¹¹, denominada A652, situada em Copacabana. Essa estação possui a capacidade de coleta de dados de precipitação, temperatura, pressão atmosférica, umidade relativa do ar e vento.

A evapotranspiração para o mês desejado é dada pela Equação 8, na qual são empregados o índice de calor (I), calculado pela Equação 9, e expoente utilizado para correção e estimativa da evapotranspiração (a), conforme a Equação 10.

Equação 8 - Cálculo da evapotranspiração com temperaturas abaixo de 26°C.

$$ET_p = 16x((10xT_m)/I)^a \quad (8)$$

onde: ET_p = evapotranspiração; a = expoente para correção; I = índice de calor

Equação 9 - Cálculo do índice de calor.

$$I = \Sigma(0,2 * T_m)^{1,514} \quad (9)$$

onde: I = índice de calor; T_m = temperatura média do mês

Equação 10 - Cálculo do expoente a para correção e estimativa da evapotranspiração.

$$a = 0,49239 + (1,7912 * 10^{-2} * I) - (7,71 * 10^{-7} * I^3) \quad (10)$$

onde: a = expoente para correção; I = índice de calor

Em três ocasiões, nos meses de março de 2022, fevereiro e março de 2023, a temperatura média mensal foi de 26,1°C, 26,5°C e 26,3°C

¹¹ INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

respectivamente, o que tornou necessário a utilização da Equação 11 para o cálculo da evapotranspiração.

Equação 11 - Cálculo de evapotranspiração utilizada quando o valor médio da temperatura mensal é superior do que 26°C.

$$ET_p = -415,85 + 32,24 * T_m - 0,43 * T_m^2 \quad (11)$$

onde: Legenda: ET_p = evapotranspiração; T_m = temperatura média do mês

A correção da equação de Thornthwaite foi realizada através da Equação 12 e com o uso da Tabela 7. No caso da estação meteorológica de Copacabana, que está localizada na latitude 22° 56' 14", o fator de correção (COR) a ser utilizado na equação foi obtido através de interpolação entre as latitudes disponíveis na tabela.

Tabela 7 - Índice de correção com base na latitude do ponto amostrado e os meses do ano.

LAT	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
22	0,99	1,0	1,09	1,1	1,16	1,14	1,0	1,05	0,97	0,95	0,9	0,94
23	0,98	1,0	1,09	1,1	1,17	1,15	1,0	1,05	0,97	0,95	0,89	0,94

Legenda: LAT = latitude.

Fonte: Thornthwaite (1948) citado por (AL-SUDANI, 2019)

Equação 12 - Cálculo para correção da evapotranspiração.

$$ETP = ET_p \times COR \quad (12)$$

onde: ETP = evapotranspiração corrigida; ET_p = evapotranspiração não corrigida; COR = índice de correção.

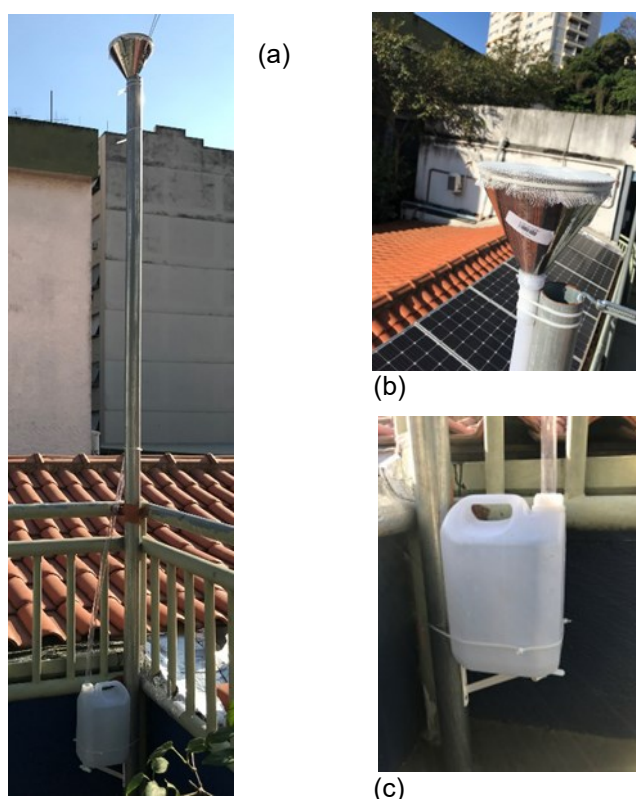
2.3.8 Capacidade de retenção poluentes do escoamento superficial pelo Jardim de Chuva

Para avaliar a capacidade do jardim de chuva em reter os poluentes oriundos do escoamento superficial de um telhado, foram instalados no colégio três pontos de coleta da água da chuva: um coletor de precipitação direta, para captar a água da chuva diretamente; um sistema para captação da primeira água da chuva (*Fisrt flush*), a fim de caracterizar o escoamento superficial; e

um tubo para coleta da água infiltrada após a passagem pelo jardim, com o objetivo de avaliar escoamento superficial e a eficácia do jardim.

O coletor de precipitação direta foi instalado acima da área do canteiro, distante de qualquer parede ou obstáculo. Ele é composto por um funil com 19 cm de diâmetro, protegido por uma tela com abertura de 2 mm, de forma a impedir a entrada de insetos e folhas. O funil foi conectado, por meio de uma mangueira, a um tanque de armazenamento com capacidade de 5 litros (Figura 29).

Figura 29 - Sistema de coleta e armazenamento da precipitação direta, Colégio Eliezer Max, Laranjeiras, Rio de Janeiro.



Legenda: (a) – Visão geral do equipamento; (b) – Funil com tela de proteção para queda de animais e folhas, afastado de qualquer barreira física; (c) – recipiente para o armazenamento da água da chuva com capacidade de 5 litros.

Fonte: O autor, 2023

Para coletar a poluição difusa carregada durante o início do evento de precipitação, quando são removidos o material particulado e as substâncias contidas no ar, além daquelas acumuladas nos pisos e telhados, foi instalado um coletor para a primeira água da chuva, o *First flush* (FF). Este equipamento é composto por um tubo conectado a um dos dutos do sistema de drenagem

do telhado do pavimento superior, com capacidade de armazenar os primeiros 0,03 mm de chuva, o que corresponde a um total de 4,4 litros de água. Para a coleta desta água armazenada, o conteúdo do tubo era homogeneizado e dividido nos respectivos frascos para análise posterior (Figura 30).

Figura 30 - Sistema de coleta da primeira água do escoamento superficial, First Flush, instalado no tubo de drenagem do telhado e da laje do andar superior, Colégio Eliezer Max, Laranjeiras, Rio de Janeiro.



Fonte: O autor, 2023.

A coleta da água da chuva após a passagem pelo jardim de chuva foi realizada por meio da instalação de um tubo com 10 cm de diâmetro e 120 cm de comprimento, dos quais 100 cm foram enterrados verticalmente em relação ao solo. A parte do tubo voltada para o interior do jardim teve sua saída vedada com um “cap”, e perfurações foram feitas em sua lateral, entre as profundidades de 60 e 90 cm, de modo a permitir o armazenamento de água nos 10 cm finais. Desta forma, foi possível captar a água percolada pelo fundo do jardim. A água foi coletada após eventos de chuva com o auxílio de um

sistema de sucção, para posterior análise laboratorial de qualidade da água de chuva armazenada (Figura 31).

Figura 31 - Tubo instalado no jardim de chuva para coleta da água após a passagem pelo jardim.



Fonte: O autor, 2022.

A amostragem ocorreu sempre após o primeiro dia de chuva, nos três pontos distintos: precipitação direta, *First flush* e jardim de chuva. Durante todo

o experimento, somente no dia 17/06/23 não foi coletada a amostra da precipitação direta devido a falhas no equipamento; nos demais casos, três amostras foram coletadas no mesmo dia.

As amostras coletadas foram armazenadas em dois recipientes distintos, um com capacidade de 500 ml, para o envio ao Laboratório de Engenharia Sanitária (LES) da UERJ, e outro com capacidade de 50 ml, utilizado apenas durante últimas 5 coletas, quando foram realizadas as análises de coliformes termotolerantes e totais no laboratório Oceanus, localizado na cidade do Rio de Janeiro e especializado em análises de qualidade de água.

No LES as amostras foram analisadas com o uso da sonda multiparamétrica, modelo U-50, da marca HORIBA, com capacidade de apresentar instantaneamente resultados de: temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), turbidez, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica e redox. Também foram realizados ensaios de Carbono Orgânico Total (COT) e fósforo, de acordo com a APHA (2012).

As amostras foram coletadas ao menos uma vez por mês, após eventos de chuva, entre julho de 2021 e maio de 2022, e dezembro de 2022 e agosto de 2023. Os recipientes para coleta da água da chuva eram esvaziados na véspera de datas com alta probabilidade de chuva, de acordo com páginas eletrônicas de meteorologia, consultadas regularmente, como www.windguru.cz e www.climatempo.com.br. As coletas foram realizadas de forma manual, com intervalos não superiores a 2 (dois) dias após a ocorrência da chuva. Os frascos para a análise de coliformes eram entregues imediatamente no laboratório de análise, e os demais eram acondicionados em refrigeradores para posterior análise no LES.

O amplo período de coletas possibilitou ajustes durante o estudo, a fim de aumentar a representatividade das análises. Assim, a partir da quarta coleta, foram inseridas as análises do fósforo e Carbono Orgânico Total (COT) nas amostras, e posteriormente, a análise de coliformes termotolerantes e totais nas últimas cinco coletas. No segundo período das coletas, a partir de dezembro de 2022, também foi inserida a coleta da primeira água da chuva, ou *First flush*, com a instalação de um coletor para captação da água de chuva, entre a precipitação direta e o jardim de chuva.

A qualidade da água do experimento foi obtida por meio da variação na concentração das substâncias ou nos valores dos parâmetros (ΔC), calculada para cada par de amostras, conforme a metodologia proposta por Khan et al. (2012) e apresentada na Equação 13.

Equação 13 - diferença na concentração dos poluentes na água da chuva.

$$\Delta C = 1 - \frac{C_{entrada}}{C_{saída}} \quad (13)$$

onde: ΔC = a mudança na concentração da substância ou no valor do parâmetro; $C_{entrada}$ = é a concentração (mg/L) ou valor inicial de entrada; $C_{saída}$ = a concentração (mg/L) ou valor na saída do sistema ou da parte levada em consideração.

Para todo o período de estudo, foram calculados valores de mudança na concentração para cada um dos parâmetros, e os resultados foram comparados considerando o escoamento superficial de montante para jusante. Assim, foram comparados: a precipitação direta (PD) com a saída do jardim de chuva (JC); a precipitação direta (PD) e o *First Flush* (FF); e o FF com o jardim de chuva (JD), sendo este último resultado mais capaz de demonstrar a capacidade de remoção dos poluentes dessa infraestrutura verde.

No total, foram amostrados 27 eventos pluviométricos entre os anos de 2021 e 2023. Todas as amostras foram analisadas com o auxílio da sonda multiparamétrica Horiba U-60. Desta forma, a não ser em casos excepcionais, onde ocorreu a perda de dados ou da amostra, por falha no armazenamento ou no equipamento de coleta de água, na maioria das amostras foram analisados os parâmetros pH, turbidez, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, e sólidos dissolvidos, principalmente para as amostras da precipitação direta e do jardim de chuva. Posteriormente, foi possível analisar as amostras no laboratório da Engenharia Sanitária e Ambiental da UERJ quanto ao fósforo e ao Carbono Orgânico Total, e nas últimas cinco coletas, também quanto aos coliformes fecais, que foram enviados para o laboratório privado.

Os parâmetros foram avaliados considerando amostras na entrada e na saída no sistema. Inicialmente, optou-se pela análise dos dados da precipitação direta em relação aos dados de saída do jardim de chuva, porém, após resultados pouco conclusivos, foi incluído um ponto de coleta intermediário para a coleta da água, captando a poluição difusa. Desta forma,

em dezembro de 2022, foi instalado o sistema separador da primeira água da chuva ou do volume inicial, no sentido de captar a água no estágio de montante do jardim de chuva. Com isso, as análises oriundas do *First Flush* foram realizadas nas últimas nove coletas, o que possibilitou a comparação da água da Precipitação Direta e do Jardim de Chuva com a do *First Flush*.

Os resultados foram analisados com a utilização da linguagem R para o cálculo das correlações e da significância dessas, e também em função dos dias antecedentes sem chuva. O volume de chuva dos dias amostrados foi obtido, porém uma vez que os recipientes para coleta das amostras possuíam capacidade máxima pré determinada (5 litros a PD e 8 litros o FF), e mostravam dessa forma somente os primeiros milímetros de chuva, essa variável não foi considerada nos resultados.

Tendo em vista que uma das características das infraestruturas verdes é a realização do pré-tratamento do escoamento superficial antes de direcioná-lo para as drenagens urbanas, que, por sua vez, em centros urbanos, são normalmente conectadas aos rios urbanos, os resultados das análises realizadas foram comparados aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, juntamente com suas atualizações na Resolução CONAMA 430/2011. Essas regulamentações estipulam os padrões de qualidade da água para os corpos hídricos de água doce classe III, que, por definição, são destinados a:

Seção I

Das Águas Doces

Art. 4º As águas doces são classificadas em:

IV - Classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) à pesca amadora;
- d) à recreação de contato secundário; e
- e) à dessedentação de animais.

2.4 RESULTADOS DA CAPACIDADE DE RETENÇÃO DO VOLUME DE ÁGUA E POLUENTES DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL PELO JARDIM DE CHUVA

2.4.1 Análise dos eventos observados de precipitação

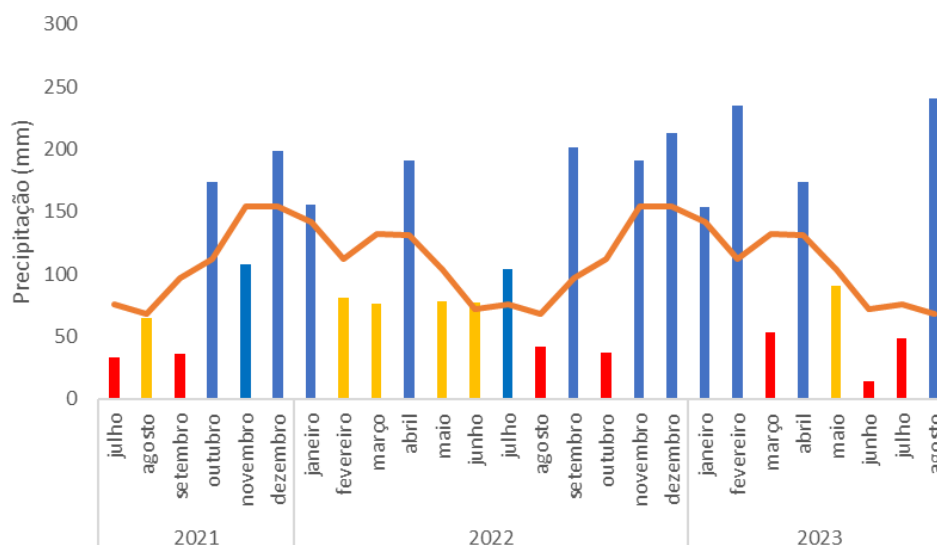
A precipitação foi observada ao longo de dois anos, período em que foi analisada a influência de 28 eventos de chuva no jardim de chuva, incluindo 15 eventos com chuvas fortes, entre 10 e 50 mm/h. Dentre esses, destacam-se três eventos com maiores intensidades observadas: 28/11/2022, com 47 mm/h; 31/03/2022, com 43 mm/h; e 07/02/2023, com 40 mm/h. Nenhum evento com chuvas consideradas muito fortes (acima de 50mm/h), conforme ZHANG et al. (2019), foi registrado no período.

Quanto à duração dos eventos contínuos, destacou-se o evento ocorrido em 05/01/2023, que teve uma duração de 21 horas e 30 minutos consecutivos de chuva, totalizando 76 mm precipitado. Já o evento mais intenso, ocorrido em 07/02/2023, durou 8 horas e 45 minutos, com 107 mm de chuva precipitada nesse intervalo.

O maior volume acumulado em 24 horas foi registrado em 01/04/2022, com 148 mm. O segundo maior valor de chuva acumulada foi observado em 08/02/2023, com 119 mm, seguido pelo evento de 09/04/2023, com 93 mm.

A Figura 32 apresenta o total mensal de chuva durante o período de estudo para o bairro de Laranjeiras. Foram considerados, os meses mais secos, com volumes inferiores a 50 mm; os meses intermediários, com precipitação entre 50 mm e 100 mm; e os meses mais úmidos, nos quais a precipitação mensal superou 100 mm.

Figura 32 - Quantidade total da precipitação por mês, durante a análise do jardim de chuva no Colégio Eliezer Max, bairro das Laranjeiras, Rio de Janeiro, RJ.



Legenda: as barras: vermelho - valores inferiores a 50 mm/mês de chuvas; amarelo – entre 50 e 100 mm/mês; azul – acima de 100 mm/mês. A linha representa a média dos valores mensais entre os anos de 2001 e 2023.

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do sistema Alerta Rio, 2023.

2.4.2 Análise do volume da água no Jardim

2.4.2.1 Granulometria e classificação do solo

A análise do solo foi conduzida em um laboratório externo, com amostra coletada no jardim de chuva. No padrão construtivo comum a jardins, similar ao originalmente aplicado no jardim de chuva do Colégio Eliezer Max, é recomendado realizar uma mistura homogênea de três materiais, distribuídos em partes iguais. Essa prática visa garantir a adequada drenagem, nutrição e estruturação do solo. Seguindo esses princípios, durante a construção do jardim, é provável que a preparação do solo tenha sido feita com 1/3 de areia, 1/3 de terra vegetal e 1/3 de adubo. Esses componentes foram misturados e inseridos na área designada para o jardim, proporcionando um ambiente propício para o desenvolvimento das plantas.

Para a classificação da textura do solo, foram adotados os parâmetros granulométricos definidos pela norma ABNT NBR 6502 (1995), conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Classificação da textura do solo. Foram adotados os parâmetros granulométricos utilizados na norma ABNT NBR 6502 de 1995.

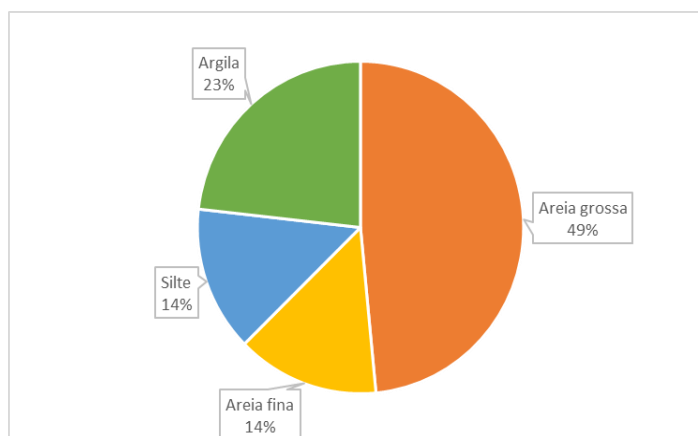
Classificação do solo	Diâmetro
Pedregulho	Entre 2,0 mm e 60 mm
Areia grossa	Entre 0,60 mm e 2,0 mm
Areia média	Entre 0,20 mm e 0,60 mm
Areia fina	Entre 0,06 mm e 0,2 mm
Silte	Entre 0,002 mm e 0,06 mm
Argila	Menores que 0,002 mm

Legenda: D = diâmetro da partícula.

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6502 (1995).

Por meio da análise granulométrica, foi possível observar a distribuição das frações dos grãos do solo em função do diâmetro das partículas. A composição apresentou 49% de areia grossa, 14% areia fina, 14% de silte e 23% de argila. Desta forma, nota-se que as frações de areia no terreno correspondem a 63% das partículas totais, caracterizando-o como um solo de elevado potencial de infiltração ou drenante, característica que pode ser comprovada durante eventos de precipitação (AZEVEDO, 2019). Conforme o Figura 33, é possível observar a distribuição granulométrica do solo do jardim de chuva.

Figura 33 - Composição do solo conforme análise granulométrica e classificação conforme a NBR 6502 da ABNT.

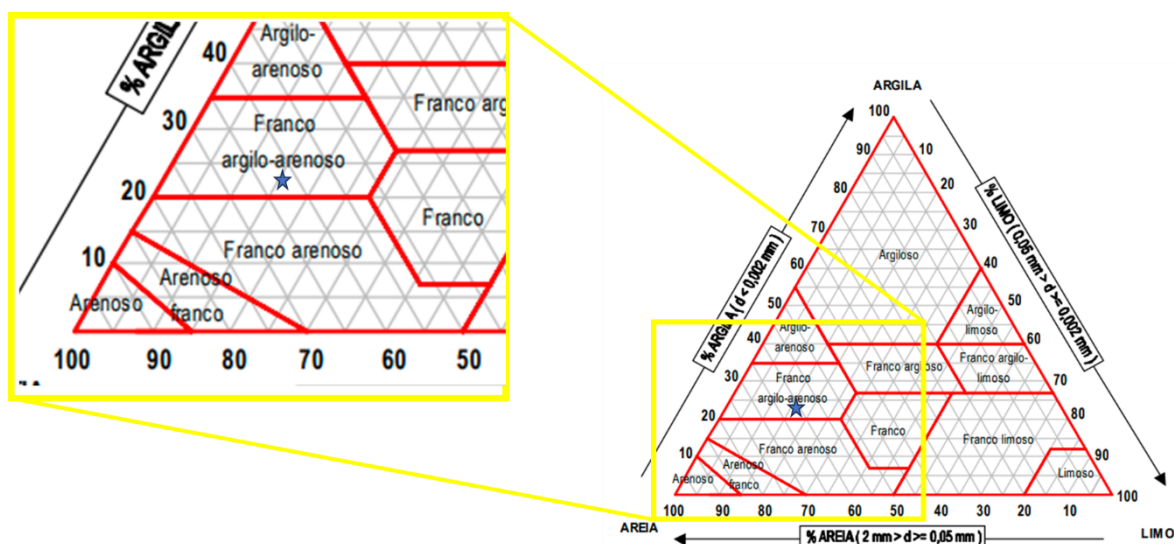


Fonte: O autor, com base no resultado da análise do solo do Jardim de Chuva, 2024.

É importante ressaltar que as características granulométricas do solo interferem na capacidade de retenção de água, na condutividade elétrica e na compactação do solo, estando diretamente ligadas à capacidade de infiltração da água da chuva nos solos (DUDRICK et al., 2024).

Com a análise granulométrica do solo, foi possível enquadrá-lo no diagrama triangular das classes texturais, utilizado pela Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) como um solo do grupamento Franco Argilo-Arenoso (Figura 34).

Figura 34 - Diagrama triangular para a classificação da textura do solo utilizada pelo Departamento de Agricultura dos EUA.



Legenda: marcação (*) demonstra o ponto de enquadramento do solo em relação a figura.

Fonte: O autor, adaptado de Costa (1991).

2.4.2.2 Avaliação do nível de água no jardim de chuva

Para analisar a capacidade de armazenamento de água no solo em jardins de chuva, diversas metodologias podem ser empregadas, utilizando diferentes tecnologias de monitoramento, como linígrafos ou sensores de umidade do solo, além de distintos padrões construtivos. Por exemplo, a impermeabilização do fundo do jardim pode ser realizada para obter cálculos mais precisos da capacidade de retenção de água.

No caso do linígrafo, ele é utilizado para medir o nível de água dentro do jardim. Quando aplicado em jardins de fundo impermeável, ele registra o nível de água, funcionando como um reservatório fechado. Além disso, podem ser empregados sensores de capacitância conectados a um datalogger, que medem a umidade do solo, permitindo acompanhar a dinâmica de saturação (BORTOLINI; ZANIN, 2018).

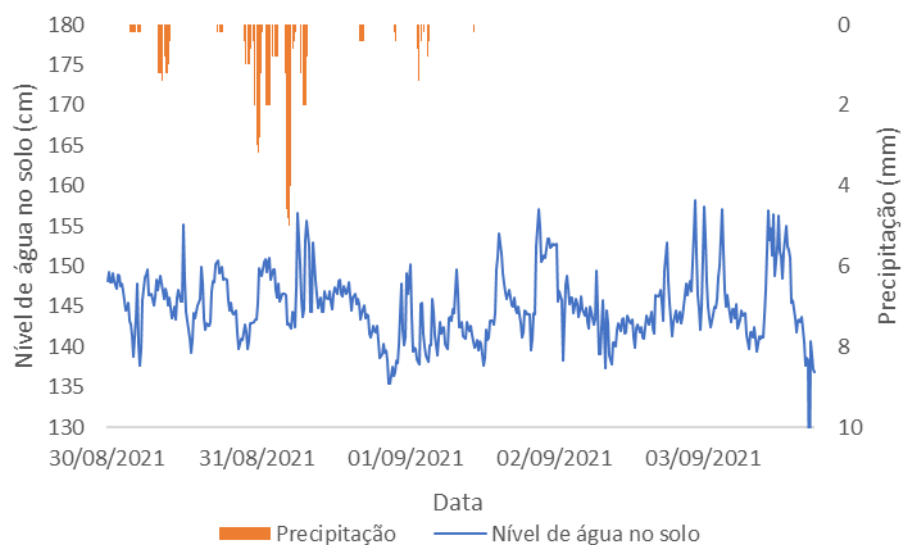
Em jardins com fundo impermeável, a água proveniente do escoamento superficial percola internamente e, após passar pelo sistema de filtragem (areia, brita, manta e outros materiais), é direcionada para um único ponto de saída. Nesse ponto, pode ser instalado um vertedouro, possibilitando o cálculo da vazão de saída da água (GÉHÉNIU et al., 2015; GUO et al., 2018; ZHANG et al., 2019). No estudo de Géheniau et al. (2015), foi instalado um poço de observação na saída do jardim, onde um linígrafo foi utilizado para monitorar o nível de água no solo, analisando a coluna d'água pelo método dos vasos comunicantes.

O jardim constituído no Colégio Eliezer Max e analisado nesta pesquisa seguiu os padrões no manual construtivo do Departamento Ambiental do Condado de Montgomery, no estado de Maryland, EUA (DER, 1999). O solo original foi escavado até a profundidade de 1 metro e substituído por um material mais permeável, com maior quantidade de areia e fundo livre, permitindo a drenagem natural do terreno sob o jardim.

A análise do teor de umidade no solo do jardim, realizada com o linígrafo, não apresentou resultados satisfatórios para a pesquisa. Os dados mostraram inconsistências significativas, com variações independentes da ocorrência de precipitação na região. Essas inconsistências foram observadas nos registros entre os dias 30/08/2021 e 03/09/2021 (Figura 35), excetuando-se períodos prolongados sem qualquer registro.

Quanto às flutuações no nível de água registradas pelo linígrafo, diversos fatores podem ter influenciado o comportamento do jardim, como a irrigação realizada pelos funcionários da escola, possíveis vazamentos de água no local ou variações de pressão no solo.

Figura 35 - Comportamento hidrológico registrado pelo linígrafo do Colégio Eliezer Max, Rio de Janeiro, entre os dias 30/08/2021 e 03/09/2021.

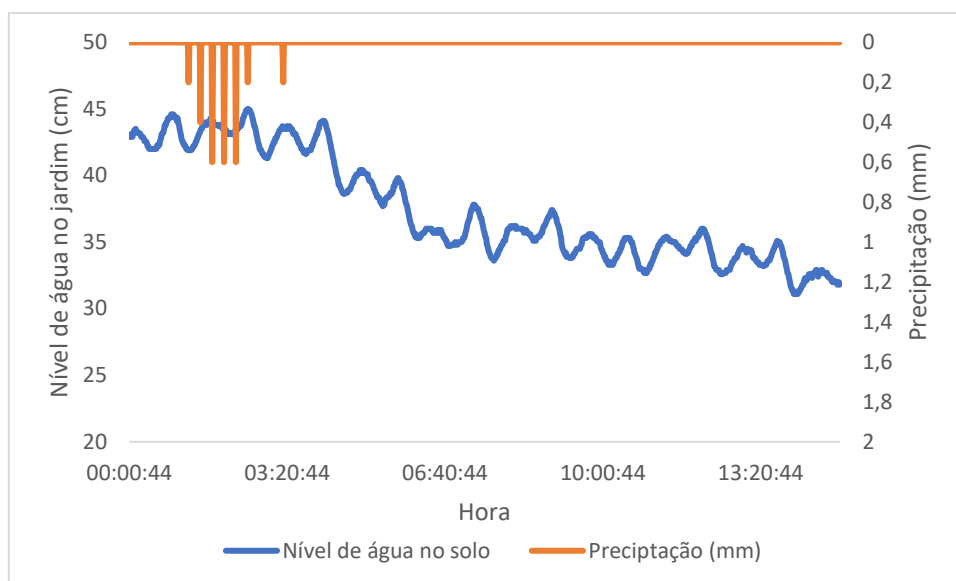


Fonte: O autor, 2021.

Mesmo com a substituição do linígrafo por outro modelo, a coleta de dados não apresentou consistência, evidenciando a necessidade de impermeabilizar a base do solo no jardim, transformando-o efetivamente em um tanque de armazenamento de água.

Ainda assim, medições foram realizadas com o novo linígrafo, como no dia 12/09/2021, quando foi possível observar a variação do nível de água no solo em resposta ao volume da precipitação registrado naquele horário (Figura 36). No entanto, devido à baixa confiabilidade dos dados, os registros foram limitados. Assim, outros métodos complementares foram adotados para avaliar o desempenho do jardim de chuva.

Figura 36 - Comportamento hidrológico registrado pelo linígrafo do Colégio Eliezer Max, Rio de Janeiro, no dia 12/09/21.



Fonte: o autor, 2021.

2.4.2.3 Taxa de infiltração do solo

Na avaliação da taxa de infiltração do solo, realizada por meio do teste de anéis concêntricos, foi observada uma elevada taxa de permeabilidade no jardim de chuva, estimada em 40 mm/h (Figura 37).

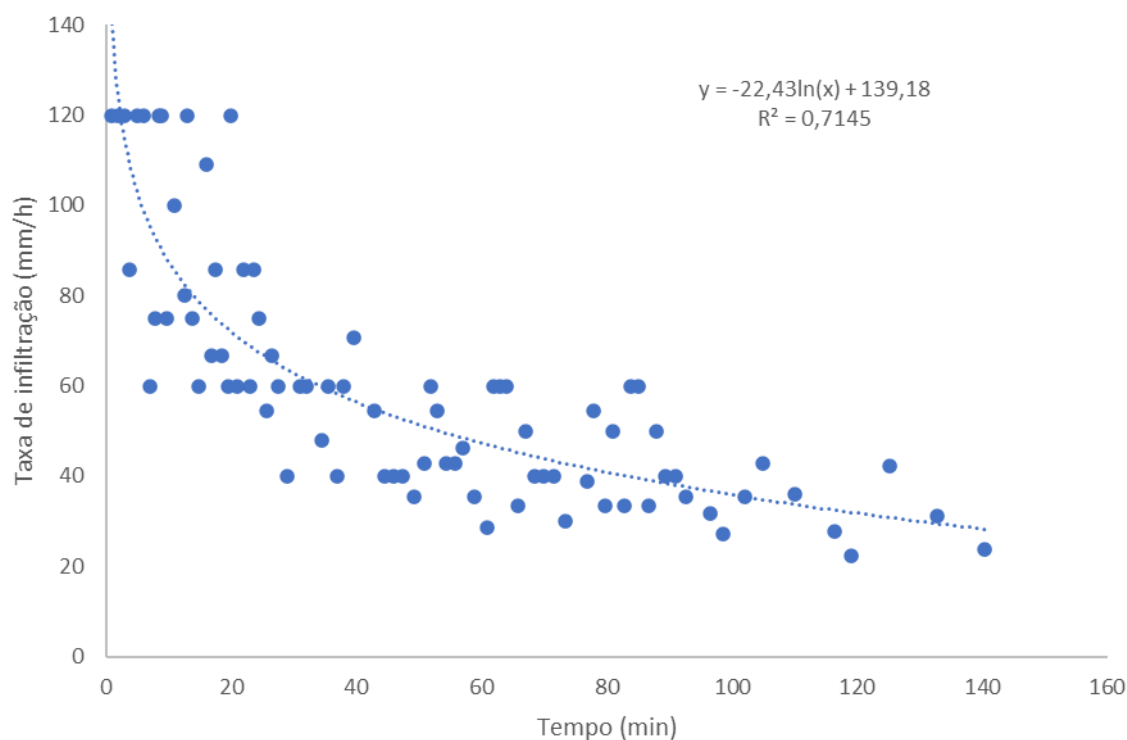
De acordo com Bernado et al. (2008), o solo pode ser classificado quanto à velocidade de infiltração de água. Solos com velocidade de infiltração superior a 30 mm/h são considerados de infiltração muito alta. Já segundo o Manual de Pesquisa de Solo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2017), o solo do jardim se enquadraria na categoria de infiltração alta, conforme observado na Tabela 9, com valores em cm/h.

Tabela 9 – Classificação dos valores da taxa de infiltração ou condutividade hidráulica saturada.

Classificação	Muito baixa	Baixa	Moderadamente baixa	Moderadamente alta	Alta	Muito alta
Velocidade de infiltração / transmissão (cm hora ⁻¹)	< 0,0036	≥ 0,0036 a ≤ 0,036	0,036 a ≤ 0,36	> 0,36 a ≤ 3,6	>3,6 A ≤ 36	> 36

Fonte: Adaptado de Manual de Pesquisa do Solo (*Soil Survey Manual*) (USDA, 2017).

Figura 37 - Curva da taxa de infiltração do solo do jardim de chuva, obtida através do teste dos anéis concêntricos.



Legenda: os pontos no gráfico são os valores resultantes do teste; a linha tracejada é a linha de tendência dos valores.

Fonte: O autor, através dos valores obtidos no teste dos anéis concêntricos.

Em estudo conduzido por França e Bressane (2013), com solo semelhante ao analisado nesta tese, classificado como Argilo Franco-Arenoso, foi registrada uma taxa de infiltração de 23 mm/h. De acordo com os autores, esse valor já estaria acima do esperado para essa tipologia de solo, cujos valores geralmente variam entre 5 e 20 mm/h.

Resultados semelhantes foram obtidos por Melo et al. (2014) ao avaliar um terreno destinado à instalação de um jardim de chuva experimental na cidade de Recife, Pernambuco. No estudo, uma trincheira de infiltração de 1 m³ foi implantada. Antes da instalação do experimento, a taxa de infiltração era de 28,5 mm/h. No entanto, após a implantação da trincheira, a taxa aumentou para 312 mm/h. Assim como nesta tese, esse aumento significativo da taxa de infiltração, muito superior ao padrão original do solo, foi atribuído à manipulação do solo em relação ao encontrado no terreno natural ou esperado para sua classe.

Com base nos dados obtidos da curva de infiltração no teste de anéis concêntricos, os resultados foram ajustados à equação de Horton. O coeficiente de determinação R^2 foi igual a 0,71, indicando um bom ajuste do modelo. A capacidade máxima de infiltração, representada pelo F_0 , foi de 59,9 mm/h, enquanto a taxa de infiltração final (f) foi de 32,8 mm/h.

2.4.2.4 Cálculo da entrada de água no Jardim de chuva

A intensidade da chuva para a região foi determinada com base nos padrões para o bairro do Jardim Botânico, por ser a área mais próxima que dispõe de dados para o cálculo do coeficiente do IDF, conforme descrito pela Rio-Águas (2010). A intensidade registrada foi de 76,03 mm/h, com escoamento superficial de 0,00297 m³/s e volume precipitado de 5,35 m³, conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Valores de cálculo da capacidade de retenção de água pelo Jardim de Chuva do Colégio Eliezer Max.

Variável ou Parâmetro	Valor
Vazão	0,00297 m ³ /s
Coeficiente de <i>runoff</i>	0,83
Intensidade da chuva	76,03 mm/h
Área de contribuição	169 m ²
Duração da chuva	1800 s
Volume da precipitação	5,35 m ³
Tempo de retorno	2 anos

Fonte: Dados calculados pelo autor com base nas medidas do jardim de chuva, da área de captação e do coeficiente de chuvas fornecido pela Rio-Águas.

Através do Método Racional, o volume de armazenamento do jardim foi estimado em 9,75 m³. Quando considerado o coeficiente de chuva para a região, o jardim apresentou um valor de volume de infiltração negativo de -4,40 m³, indicando uma capacidade de retenção ociosa, ou seja, um volume ainda disponível para retenção de água no jardim de chuva do Colégio Eliezer Max.

Se considerada a precipitação máxima ocorrida durante o período de estudo, de 42,8 mm/h em 31/03/2022, conclui-se que, para uma precipitação com essa intensidade, o jardim seria capaz de absorver todo o escoamento superficial por até 1h e 37 minutos.

Esse cálculo, no entanto, é simplificado, pois depende do nível de saturação do solo durante o evento pluviométrico, levando em consideração a capacidade máxima de retenção de água no jardim de chuva. Essa é precisamente a proposta do *Hydrus* 1D, que utiliza a equação de Van Genuchten e considera a saturação do solo prévia ao evento pluviométrico.

A partir do cálculo realizado para o jardim de chuva, também foi possível estimar, levando em consideração a chuva estimada para a região, o tamanho mínimo do jardim necessário para reter a água do escoamento superficial. Atualmente, o volume estimado de armazenamento do jardim de chuva é de 9,75 m³ de água, para uma capacidade de volume total de 19,5 m³ (13 m x 1,5 m x 1 m). Portanto, de acordo com a equação de chuva da região, estima-se que seria necessário um jardim com volume total de 10,7 m³, o que poderia corresponder a uma estrutura de 7,1 metros de comprimento, 1,5 metro de largura e 1 metro de profundidade, ou até 6,3% da área do jardim em relação à área de captação.

Deve ser considerada a proporção da área do jardim em relação à área de captação. Neste cálculo, essa proporção foi de 6,3%, o que é menor do que o proposto por Bortolini e Zanin (2018), que indicam de 10 a 15%, devido ao fato de que o jardim estudado nesta tese, apesar de ter profundidade semelhante, possui uma composição de solo bem diferente. No estudo de Bortolini e Zanin, o solo era composto por 16,7% de areia, 78,5% de silte e 4,8% de argila, ou seja, com menor capacidade de infiltração.

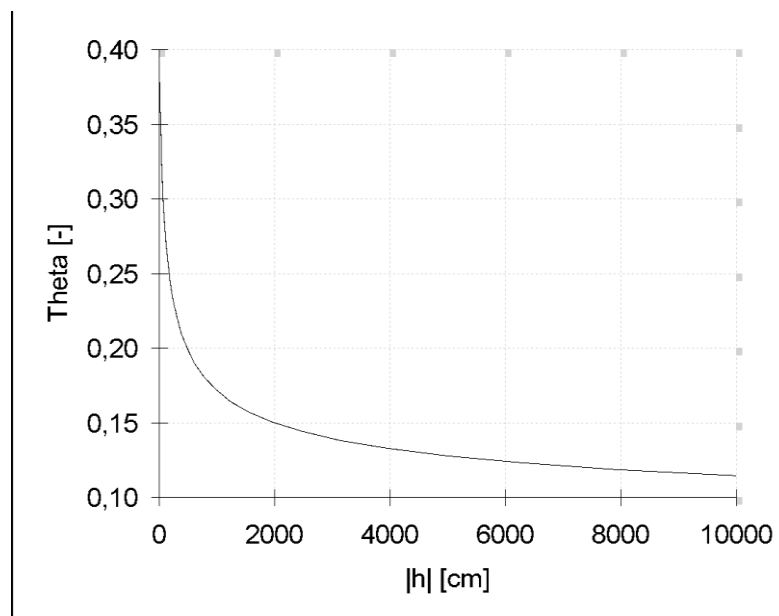
Na pesquisa realizada para a elaboração desta tese, através de buscas em páginas eletrônicas, manuais e folhetos de agências e associações estaduais e municipais, foram encontrados parâmetros pré-estabelecidos para facilitar a instalação de jardins pelos munícipes. Um exemplo disso é o praticado para o estado do Alabama, EUA (ACES, 2024), que recomenda uma porcentagem de área do jardim de 10% a 20% em relação à área impermeável,

dependendo da profundidade do solo do jardim. Para jardins com profundidade de 8,9 cm a 15,2 cm (de 3,5 a 6 polegadas), recomenda-se uma área de 10%, e para profundidade de 7,6 cm (cerca de 3 polegadas), uma área de 20%. Essa abordagem também poderia ser aplicada à localidade analisada nesta tese. Vale ressaltar que, na recomendação da ACES para o estado do Alabama, a profundidade de 8,9 cm em um jardim de 10% da área impermeável considera a possibilidade de extravasamento mais frequente, devido aos eventos pluviométricos mais intensos.

2.4.2.5 Resultado do fluxo de água no solo com o uso do Hydrus 1D

Com o *software Hydrus-1D* foi possível analisar o fluxo da água dentro do jardim. Inicialmente foi elaborada a curva de retenção do solo utilizado na estrutura, conforme observado no Figura 38.

Figura 38 - Curva de retenção do solo do Jardim de chuva localizado no Colégio Eliezer Max, Laranjeiras, Rio de Janeiro (Theta / h).



Legenda: *Theta* = ponto de saturação do solo. *h* = tempo.

Fonte: o autor, através do programa de modelagem hidrológica *Hydrus 1D*.

Na Figura 39, é possível observar o ponto de saturação do solo no Θ_s de 0,38, conforme apresentado na Tabela 11. Esse valor foi estimado pelo

módulo ROSETTA LITE 1.1, que se baseou nos dados de distribuição granulométrica do solo obtidos na análise do Jardim de Chuva. Na curva, é possível observar a capacidade de campo do solo, com referência aos 100 minutos, na curva estimada entre 0,25 e 0,30 no eixo y.

A capacidade de campo refere-se ao conteúdo de água retida no solo após o excesso de água ter sido drenado, quando o movimento da água se torna desprezível (MEYER; GEE, 1999). Esse conceito é fundamental para compreender a capacidade de retenção de água do solo e sua disponibilidade para as plantas, pois representa o ponto de equilíbrio entre a infiltração da água no solo e a sua percolação para as camadas mais profundas.

Com o valor Θ_s de $0,36 \text{ m}^3/\text{m}^3$, é possível observar, no início da curva de retenção, a indicação da capacidade máxima de armazenamento do solo, que é de 360 litros de água por 1 m^3 de solo, na situação hipotética de um solo totalmente seco.

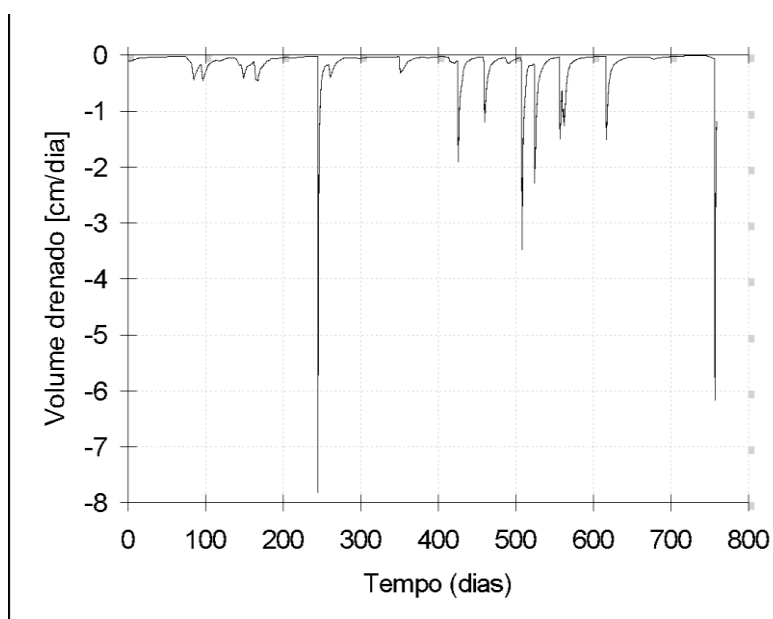
Tabela 11 – Parâmetros da equação de retenção de água (Equação de van Genuchten – Mualem) apresentados pela ferramenta do pacote do *Hydrus 1D*, o Rosetta Lite 1.1. O valor de K_{sat} foi obtido em avaliação no campo (considerado o valor da TBI)

Conteúdo de água residual $\Theta_R \text{ (cm}^3/\text{cm}^3\text{)}$	Conteúdo de água saturada $\Theta_s \text{ (cm}^3/\text{cm}^3\text{)}$	Alpha (min^{-1})	n (-)	$K_s \text{ (cm/dia)}$	l (-)
0,0634	0,3827	0,0276	1,3253	40	0,5

Fonte: Dados produzidos pelo autor através do módulo ROSETTA LITE 1.1.

No programa foi avaliado também o fluxo de água de fundo do jardim (*botton flux*), entre os anos de 2021 e 2023, como observado no Figura 39.

Figura 39 - Fluxo de água na base do jardim de chuva analisado, no Colégio Eliezer, Laranjeiras, Rio de Janeiro, entre os meses de agosto de 2021 e agosto de 2023.



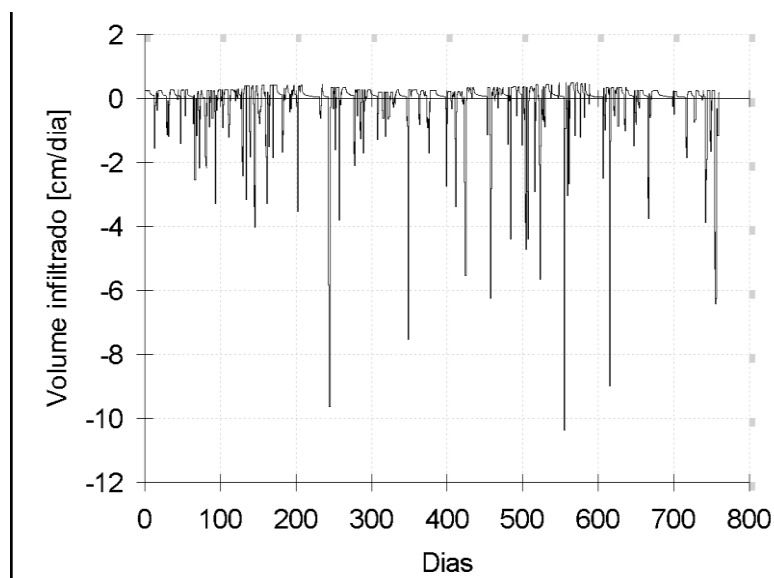
Fonte: Elaborado pelo autor com o uso do software *Hydrus 1D*.

No modelo *Hydrus-1D*, o cálculo do fluxo superficial ou do acúmulo de água na superfície do solo é realizado considerando o instante em que a taxa de precipitação excede a capacidade de infiltração do solo. Nesse cenário, o *Hydrus 1D* assume que toda a água que excede a capacidade de infiltração é imediatamente perdida para o escoamento superficial (AZEVEDO, 2019).

Ao adotar a opção *Surface Layer* e especificar a altura da camada de água na superfície, o escoamento superficial ocorrerá somente quando essa altura for atingida. Este método permite ao usuário definir um critério para o início do escoamento superficial no modelo *Hydrus 1D*, proporcionando uma abordagem mais precisa para simular o comportamento hidrológico do solo em diferentes condições de precipitação e infiltração.

Na Figura 40 é possível observar que o fluxo de água apresenta volumes constantes acima do nível do solo, representado no gráfico como a cota zero. No entanto, entende-se que este volume seja resultado da evaporação da água presente no solo e não, necessariamente, um extravasamento.

Figura 40 - Fluxo de água real na superfície (*actual surface flux*), entre os meses de agosto de 2021 e agosto de 2023, no jardim de chuva da escola Eliezer Max, em Laranjeiras, Rio de Janeiro.



Fonte: Elaborado pelo autor com o uso do software *Hydrus 1D*.

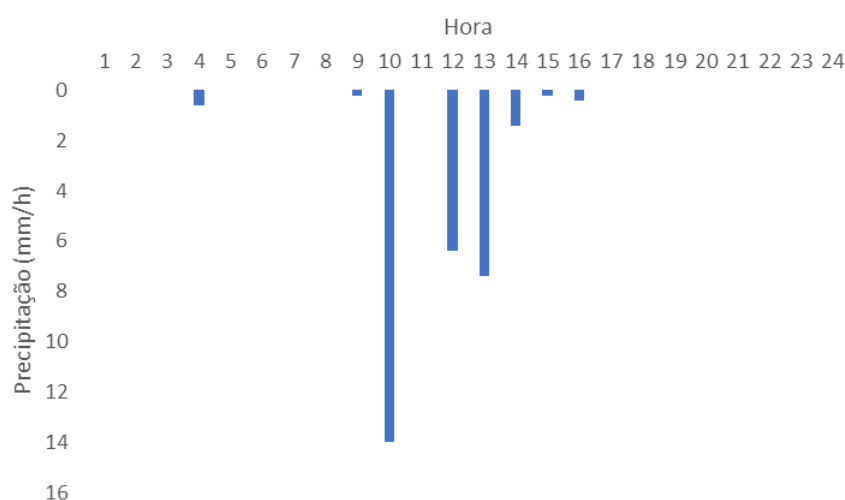
Com ferramentas de modelagem que representam os mecanismos hidrológicos de Infraestruturas Verdes, Her et al. (2017) observaram que os resultados obtidos na avaliação da performance dessas estruturas são bastante sensíveis às configurações inseridas nos programas, incluindo as características dos eventos de precipitação. Em seu estudo, eles sugerem que tanto o aprimoramento na seleção das áreas para a instalação das Infraestruturas Verdes, quanto a análise dessas áreas eventos intensos de precipitação, são cruciais para maximizar a eficácia dessas estruturas.

Baseado neste princípio, e para garantir a verificabilidade dos resultados, foi selecionado um evento com chuvas intensas, de curta duração e grande volume pluviométrico. O dia 7 de fevereiro de 2023 foi escolhido, com precipitação registrada ao longo de 8 horas e 45 minutos. Os dados pluviométricos foram inseridos no programa *Hydrus 1D*, com evapotranspiração calculada em 0,0174 cm/h, conforme os valores obtidos pela equação de Thornthwaite mencionada anteriormente.

Desta forma, foram elaborados gráficos representando o fluxo de água no solo, levando em consideração o volume de chuva, a profundidade do solo e o tempo decorrido.

Durante o período de 24 h, entre os dias 7 e 8 de fevereiro de 2024, foram pré-estabelecidos os intervalos de 6, 12, 18 e 24 horas, contabilizados a partir das 8:30 h da manhã do dia 07/02/2023 até as 7:30 da manhã do dia 08/02/2023. Esses dados foram utilizados como referência para elaborar os fluxos de água no jardim de chuva, com o uso do programa de modelagem hidrológica *Hydrus* 1D, conforme ilustrado na Figura 41.

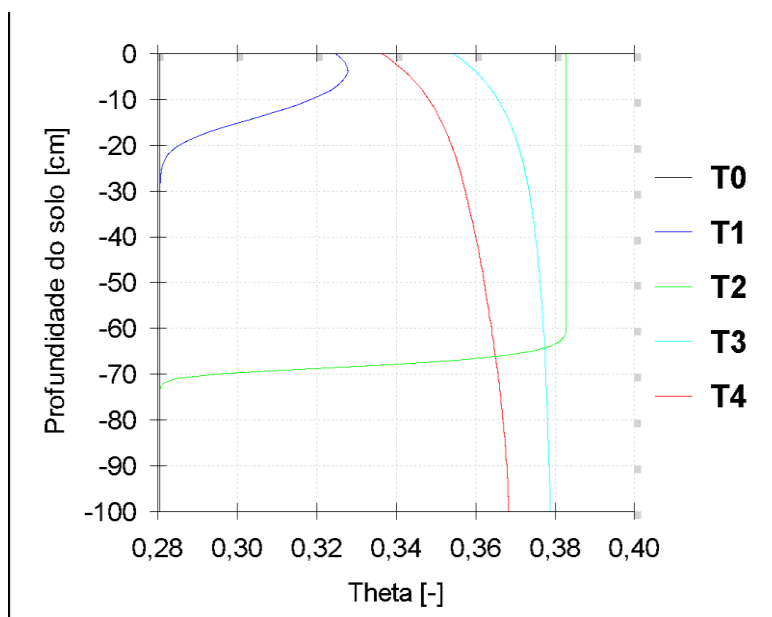
Figura 41 - Precipitação efetiva entre as 08:30 h do dia 07/02/2023 e as 07:30 h do dia 08/02/2023, capitada pela estação pluviométrica de Laranjeiras, Rio de Janeiro.



Fonte: o autor, com dados da estação pluviométrica de Laranjeiras (ALERTA RIO, 2024).

Com a ferramenta *Hydrus* 1D, foi elaborado o gráfico na Figura 42, referente ao fluxo de água no solo do jardim de chuva, levando em consideração os tempos pré-determinados de 6, 12, 18 e 24 horas. Ao avaliar as primeiras 6 horas (T1), observa-se a frente de molhamento do solo nas camadas mais superficiais, com o teor de água próximo ao valor de capacidade de campo do solo, em torno de $\Theta_s 0,33$. Nas seis horas seguintes (T2 = 12 h), quando ocorre o maior e mais intenso volume de precipitação do dia, a água percola até uma profundidade de pouco mais de 70 cm, elevando o potencial de retenção de água do jardim ao seu nível de saturação ($0,3827 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$). O alcance do limite de capacidade de retenção do solo poderia resultar no extravasamento do jardim em caso de prolongamento da chuva. Contudo, isso dependeria do preenchimento total do volume do jardim.

Figura 42 - Avaliação do fluxo de água no solo durante o período de 24 h, a partir das 8:30 da manhã do dia 7/02/2023, em relação a profundidade do solo e o teor de água no solo (Theta r), em Laranjeiras, Rio de Janeiro.

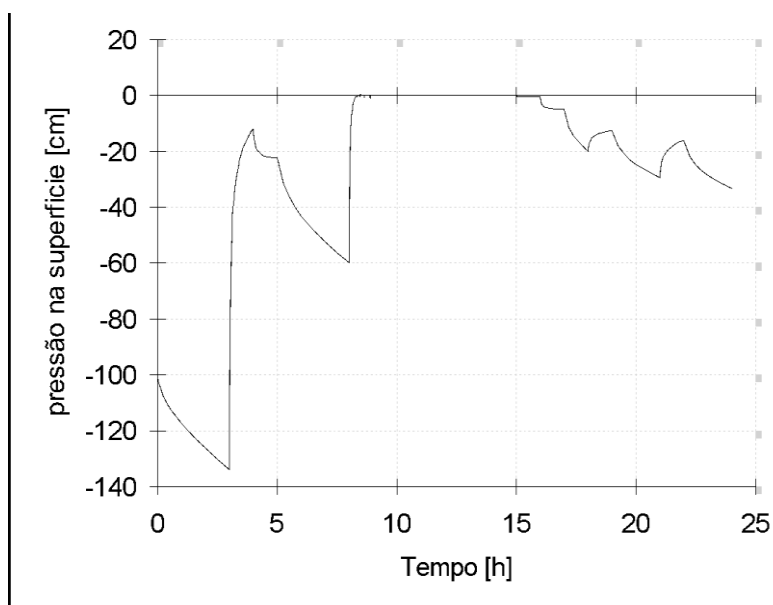


Legenda: T = horas decorridas a partir das 8:30 do dia 7/2/23; T0 = 0 h; T1 = 6 h; T2 = 12 h; T3 = 18 h; T4 = 24 h.

A pressão no solo exercida pela entrada da água por meio da infiltração, conforme demonstrado na Figura 43, é característica do preenchimento dos vazios até a capacidade de saturação. Observa-se que, após os primeiros registros de precipitação, a carga hidráulica do solo atinge o valor zero na superfície, indicando que a taxa de precipitação excedeu a capacidade de infiltração do solo, alcançando seu conteúdo máximo de água (θ_s), conforme ilustrado no gráfico da curva de retenção do solo (Figura 39).

Na configuração do programa, ao utilizar o comando *atmospheric BC with Surface Runoff* como condicionante para o limite superior do solo, a porção que excede a capacidade de infiltração é convertida em escoamento superficial.

Figura 43 - Pressão exercida pela água no solo ao longo do tempo de análise, estimada para o jardim de chuva localizado no bairro das Laranjeiras, Rio de Janeiro.



Fonte: O autor com o uso do *software Hydrus 1D*.

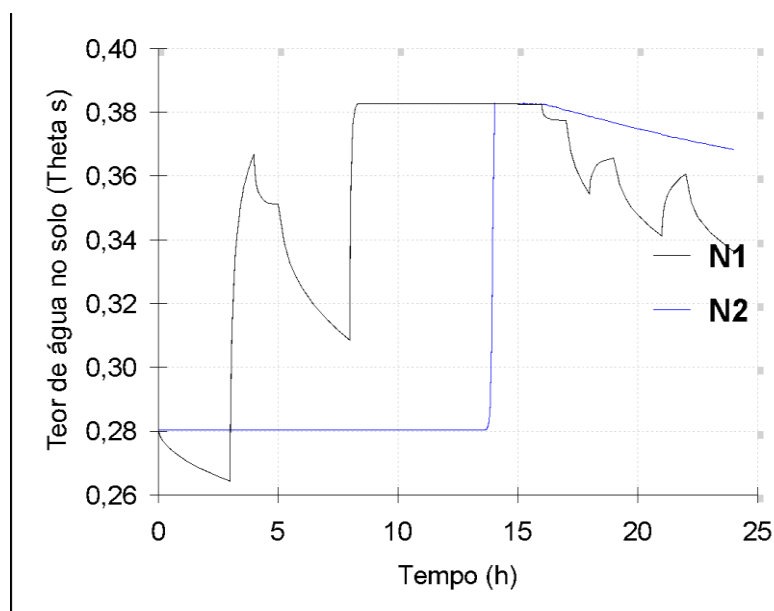
Finalmente, ao analisar os dois pontos de monitoramento estabelecidos na configuração inicial do programa, e após definir a análise da água na superfície do solo e no fundo do jardim, observa-se na Figura 44 a manutenção de um fluxo contínuo no fundo do jardim, até o período de maior intensidade de chuva, quando a capacidade de infiltração atinge a saturação do terreno. Este fluxo é restabelecido somente após a décima sexta hora do período analisado.

Na análise dos resultados das simulações realizadas com o software de modelagem, foi possível observar, por meio dos gráficos gerados, uma grande variação nas respostas, principalmente dependendo do tipo de solo analisado. A identificação da sensibilidade dos resultados aos dados representando o solo levou à decisão de realizar a análise em um laboratório especializado, com o objetivo de obter maior confiabilidade nos resultados.

Ao comparar programas utilizados para modelagem hidrológica, como SWMM, MOUSE, e Mike SHE, Broekhuizen et al. (2019) observaram que, apesar de inserirem os mesmos dados de entrada, cada programa apresentou resultados distintos para o volume de escoamento superficial. Isso ocorreu devido à maior sensibilidade de cada programa a determinados parâmetros, como tipo e profundidade do solo. Desse modo, dependendo do programa

utilizado, o modelo pode fornecer resultados diferentes, com impacto significativo nos resultados do estudo.

Figura 44 - Pontos de observação do conteúdo de água no solo durante o período analisado de 24 h, através da precipitação ocorrida na Escola Eliezer Max, no bairro das Laranjeiras, Rio de Janeiro.



Legenda: N1 = camada mais superficial do solo do jardim de chuva; N2 = última camada de solo do jardim de chuva, localizada a 100 cm de profundidade.

Fonte: Elaborado pelo autor através do programa *Hydrus 1D*.

2.4.3 Qualidade de amostras de água obtidas do Sistema Jardim de Chuva

Dentro os parâmetros analisados, o pH (potencial hidrogeniônico) foi o que apresentou maior variação na média da água do escoamento superficial (PD) em relação à água do solo do jardim, com uma redução de 9,03% (Figura 45, Tabela 13).

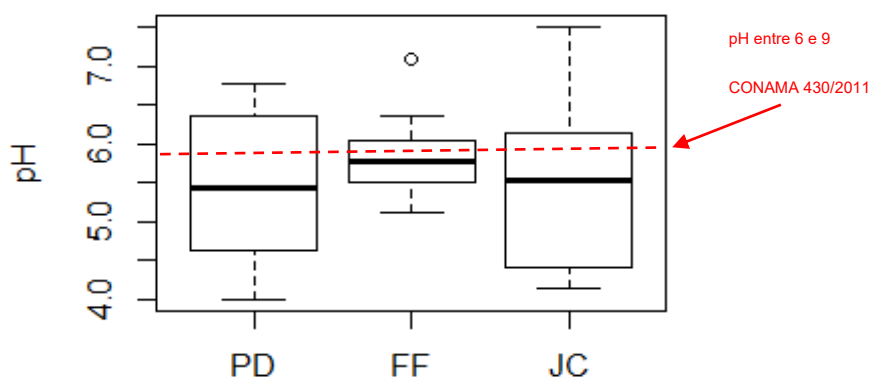
A variação do pH nas análises da água da chuva, quando estudada em relação aos telhados verdes, apresentou um comportamento oposto, mostrando uma redução na acidificação da água da chuva (TEIXEIRA et al., 2017). Entretanto, é importante ressaltar que nos estudos realizados, a composição física das camadas de substratos instaladas nos telhados verdes pode ter exercido influência nos resultados dos parâmetros encontrados.

A avaliação do pH é crucial, pois o efluente de um jardim de chuva será direcionado para um rio urbano, como o caso do bairro das Laranjeiras, cujos efluentes desaguam no rio Carioca, que, por sua vez, deságua na praia do Flamengo, uma área de lazer da população local. Estudos demonstram que o aumento do pH para valores superiores a 7, em temperaturas típicas encontradas nos rios da região (acima de 5°C), cria ambientes propícios para a proliferação microbiana. Na própria foz do rio Carioca, em estudo realizado pela FIOCRUZ (ASSEF; ARAÚJO, 2014), foram encontradas superbactérias, nome dado a bactérias típicas de ambientes hospitalares, resistentes aos antibióticos mais comuns.

Bactérias como *Vibrio cholerae*, causadora da cólera, possuem sua tolerância ambiental definida por parâmetros como pH, temperatura e salinidade, sendo o pH superior a 7 considerado ótimo para sua propagação (SILVA et al., 2019). Embora a temperatura da água não tenha sido avaliada diretamente neste estudo, sabe-se que, ao passar pelo solo, a água do escoamento superficial tende a ter sua temperatura reduzida, uma vez que o solo tem temperatura mais baixa que a do ambiente.

Por outro lado, os baixos valores de pH observados nas amostras de água da chuva podem indicar um fenômeno frequentemente observado em grandes centros urbanos. Nesses locais, áreas com maior índice de verticalização nas construções podem reduzir a circulação do ar, resultando em maior acúmulo de poluentes (Maia et al., 2019)

Figura 45 - *Boxplot* dos valores de pH obtidos da precipitação direta (PD), do First flush (FF) e do jardim de chuva (JC), coletados ao longo da pesquisa no Colégio Eliezer Max.



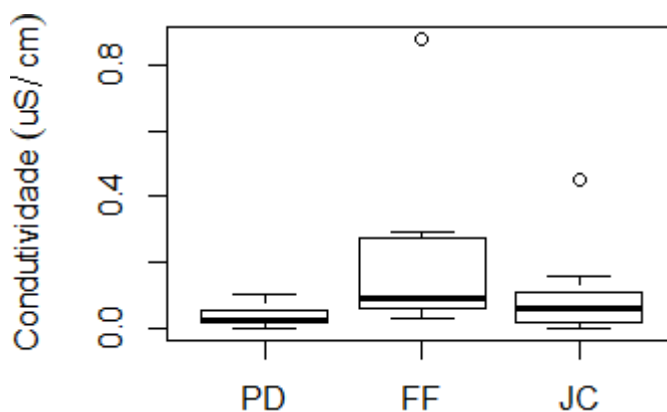
Legenda: A linha destacada em vermelho indica os limites da CONAMA 430/2011 para os corpos hídricos de água doce classe III.

Fonte: O autor, 2023.

A medição da condutividade elétrica é uma propriedade amplamente utilizada para avaliar a qualidade da água. Ela está relacionada com a presença de substâncias dissolvidas, a capacidade de conduzir eletricidade e, portanto, com a quantidade de sólidos dissolvidos, tornando-se um importante indicador para o lançamento de efluentes (LIBÂNIO, 2005). Segundo Durigon et al. (2015), essa análise está presente em grande parte dos estudos que visam avaliar a qualidade das águas, sendo também um excelente indicador para identificar lançamentos de efluentes em córregos.

No presente estudo, a comparação das amostras revelou uma variação significativa nos resultados, conforme observado na Figura 46. A variação da amostra da precipitação direta para a água coletada do escoamento superficial (FF) apresentou um aumento de 499%. Já quando comparado o First Flush com o Jardim de Chuva, observou-se uma redução média de 39% nos valores (Tabela 13).

Figura 46 - *Boxplot* dos valores de Condutividade elétrica obtidos da precipitação direta (PD), First Flush (FF) e do jardim de chuva (JC).



Fonte: O autor com base nos dados coletados na escola Eliezer Max, Laranjeiras, Rio de Janeiro.

A turbidez obtida no estudo apresentou valores diferentes dos esperados, principalmente devido à função de filtragem exercida pelo solo. Deve-se considerar a metodologia utilizada para o armazenamento e coleta da água, visto que a instalação do equipamento exigiu escavação e revolvimento

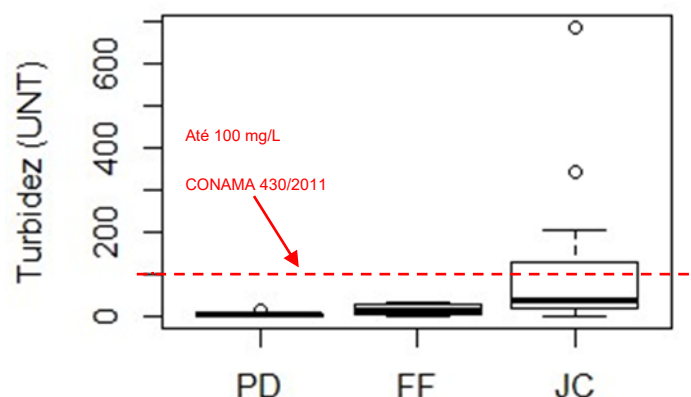
do solo. Isso influenciou visivelmente as amostras coletadas nos primeiros meses. No entanto, com a estabilização do solo, a água coletada do tubo passou a apresentar uma característica visualmente mais translúcida.

Ao analisar os resultados finais, conforme observado no Figura 47, os valores de turbidez encontrados após a passagem da água pelo jardim de chuva apresentaram as maiores médias entre os pontos de coleta, situando-se acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/2011. No entanto, como pode ser visto no *boxplot* do gráfico, a mediana se situou abaixo dos valores definidos pela legislação, indicando que a maioria dos valores obtidos nas coletas, após o período de compactação e estabilização do solo ao redor do ponto de observação instalado no jardim, foram inferiores aos limites estabelecidos pela regulamentação.

Ao comparar a precipitação direta com o *First Flush*, observou-se um aumento de 392% nos valores de turbidez (Tabela 12). Esses valores foram semelhantes aos encontrados por Silva et al. (2020) em uma bacia vizinha à deste estudo, onde houve um aumento de 359% no período úmido. No período seco, devido à redução da precipitação, foram encontrados valores bastante superiores aos deste estudo (ALVES et al., 2021). Cabe ressaltar que, no último estudo citado, o coletor de precipitação estava situado próximo a uma via de grande circulação de veículos automotores.

Foram avaliadas correlações entre os dados de turbidez e os dias sem chuva, bem como com o volume de chuva no mês. No entanto, nenhuma correlação significativa foi encontrada.

Figura 47 - *Boxplot* de valores de turbidez obtidos na precipitação direta (PD), First flush (FF) e no jardim de chuva (JC), no colégio Eliezer Max.



Legenda: a linha pontilhada apresenta os limites da CONAMA 430/2011 para os corpos hídricos de água doce classe III.

Fonte: O autor, 2023.

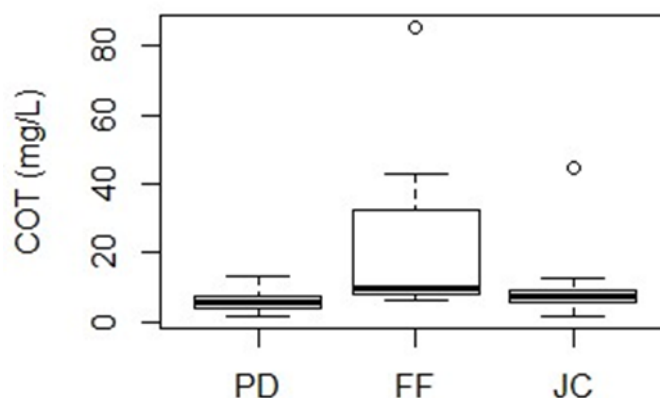
Dentre os parâmetros analisados neste estudo, o Carbono Orgânico Total (COT) foi selecionado por apresentar um grande potencial para indicar poluição orgânica. Atualmente, é amplamente utilizado devido à sua praticidade para avaliar a qualidade da água de rios e lagos, especialmente para o uso humano. Embora seja frequentemente utilizado para identificar poluição difusa, não foram encontrados estudos que considerassem jardins de chuva captando água da chuva proveniente de telhados. Essas análises são mais comumente empregadas quando se pretende identificar a deposição de óleos e graxas de estacionamentos.

É importante ressaltar que o conceito de retenção de água da chuva por estruturas de infraestrutura verde está frequentemente associado à coleta de água resultante de estacionamentos abertos, o que culmina em um maior aporte de material particulado, além de COT, como descrito por Hong et al. (2018).

Na análise da correlação linear entre os valores de COT do First Flush e os do jardim de chuva, foi obtido um valor de 0,892 no teste de Pearson, reforçando a eficácia da atenuação do COT com a implantação do jardim de chuva, com uma média de 12,1% de redução em relação ao *First Flush* (Figura 48). Ao avaliar os dias anteriores sem chuva com os valores obtidos nos três pontos de coleta, foi encontrada uma correlação média de 0,68 (teste de Pearson) somente com os valores da análise de água do *First Flush*. Já com a

PD (-0,21) e JC (0,25), a correlação entre os fatores pode ser considerada baixa.

Figura 48 - *Boxplot* dos valores de COT obtidos da precipitação direta (PD), First Flush (FF) e do jardim de chuva (JC). b – valores de COT da PD, FF e JC com volume total de chuva no mês da coleta.



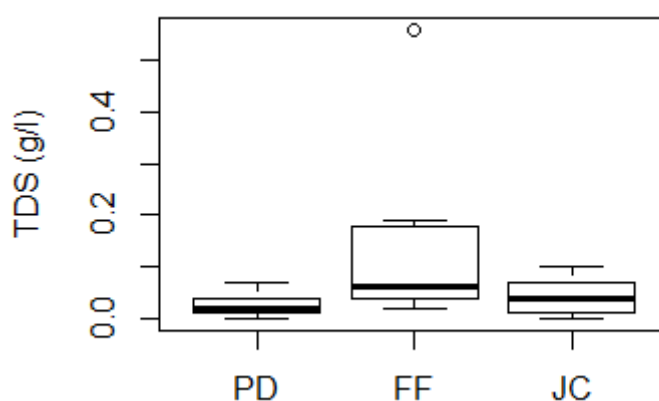
Fonte: o autor, 2023.

O Carbono Orgânico Total (COT) oriundo da água do escoamento superficial apresentou um aumento médio de 110,6% em relação aos valores médios obtidos pela precipitação direta (Tabela 12). É importante considerar a localização do ponto de amostragem, próximo à bacia do rio Carioca. Como mencionado anteriormente, a bacia possui cerca de 50% de sua área composta por área florestal, embora o grande adensamento urbano nas áreas ocupadas também tenha influência. Apesar de uma das principais vias do bairro estar situada a menos de 100 m do ponto de coleta, o Colégio Eliezer Max difere do ponto considerado no estudo de Silva et al. (2020), realizado próximo a uma das vias mais importantes da cidade, que liga as zonas Sul e Norte e, portanto, tem um fluxo viário intenso.

Esse comportamento tem sido observado em outras localidades, a partir da análise da influência do uso e ocupação do solo, bem como das cargas de poluentes. No caso de Shikoku, Japão, foi registrado o aumento do fósforo total, sedimentos totais, DBO e nitrogênio total em função do adensamento urbano, na transição de área predominantemente florestal para área urbana (MOURI; TAKIZAWA; OKI, 2011).

Em alguns estudos, os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) apresentam altas taxas de remoção pelo jardim de chuva, como observado por Lim e Lu (2016), Géheniau et al. (2015) e Khan et al. (2012), que encontraram reduções médias de 78%, 74,5% e 96%, respectivamente. Neste estudo, houve uma redução média de 39,3% nos valores de STD após a passagem do escoamento superficial pelo Jardim de Chuva. Quando avaliados somente os efeitos causados pelo escoamento superficial, isto é, ao comparar as médias da precipitação direta com as do *First Flush*, os valores médios aumentaram em 386%, além de apresentar uma forte correlação de 0,896 (Figura 49).

Figura 49 - *Boxplot* dos valores encontrados para o parâmetro STD da precipitação direta (PD), First Flush (FF) e Jardim de Chuva (JC).



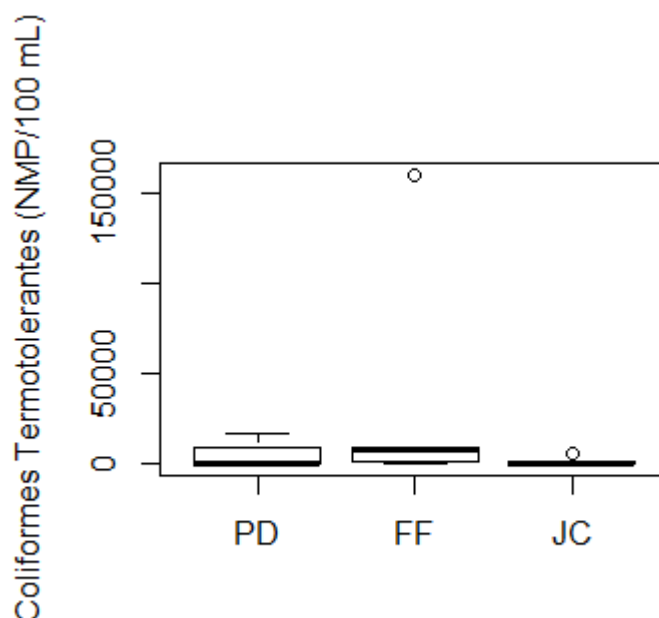
Fonte: o autor, 2023.

Outro fator que apresentou resultados promissores na filtragem do Jardim de Chuva foi a análise dos coliformes termotolerantes. Esses coliformes são frequentemente encontrados em análises de água de escoamento superficial, devido à grande fauna presente nos ambientes urbanos, que inclui desde aves até pequenos mamíferos. Por essa razão, sistemas de aproveitamento de água da chuva instalados em residências também costumam apresentar altos valores de coliformes, os quais podem ser eliminados com desinfecção utilizando hipoclorito de cálcio (Giro, 2020).

No presente estudo, observou-se uma redução média de 73% na contagem de coliformes termotolerantes após a passagem da água do escoamento superficial pelo Jardim de Chuva, demonstrando o potencial da

técnica para promover a remoção desses microrganismos (Figura 50, Tabela 12).

Figura 50 - *Boxplot* dos valores encontrados para a quantidade de Coliformes Termotolerantes obtidos na precipitação direta (PD), First Flush (FF) e jardim de chuva (JC).



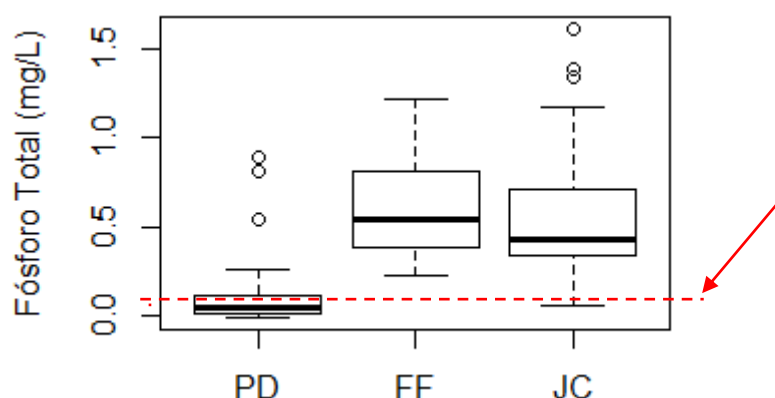
Fonte: O autor, 2023.

O fósforo é um parâmetro de difícil interpretação em estudos que analisam jardins de chuva, pois a estrutura de retenção requer o mesmo tratamento de manutenção de um jardim tradicional, o que inclui adubação periódica (KARCZMARCZYK; KAMINSKA, 2020). No entanto, como a manutenção do Colégio, incluindo os cuidados com o jardim, era realizada por diversos colaboradores, não foi possível obter as datas de adubação da área, o que impediu uma comparação precisa dos resultados obtidos nas análises. Esse fator provavelmente influenciou alguns dos resultados, como o aumento de 152% nos valores de Fósforo Total após a passagem da água pelo Jardim de Chuva (Figura 51).

Em relação ao aumento do fósforo no *First Flush* em comparação à precipitação direta, foi observado um incremento médio de 1053%, o que difere dos resultados de Costa et al. (2023), onde menos de 20% das amostras apresentaram aumento nos valores de fósforo nesta comparação (Tabela 12).

Ao avaliar os valores do *First Flush* com os do Jardim de Chuva, observou-se uma correlação negativa de -0,693 entre eles. Esse fenômeno também foi identificado nos estudos de Maniquiz-Redilla & Kim (2016), que atribuíram essa correlação a uma combinação química ou adesão física que poderia influenciar os sólidos em suspensão e outros parâmetros analisados.

Figura 51 - *Boxplot* dos valores obtidos do parâmetro Fósforo Total da precipitação direta (PD), First Flush (FF) e jardim de chuva (JC).



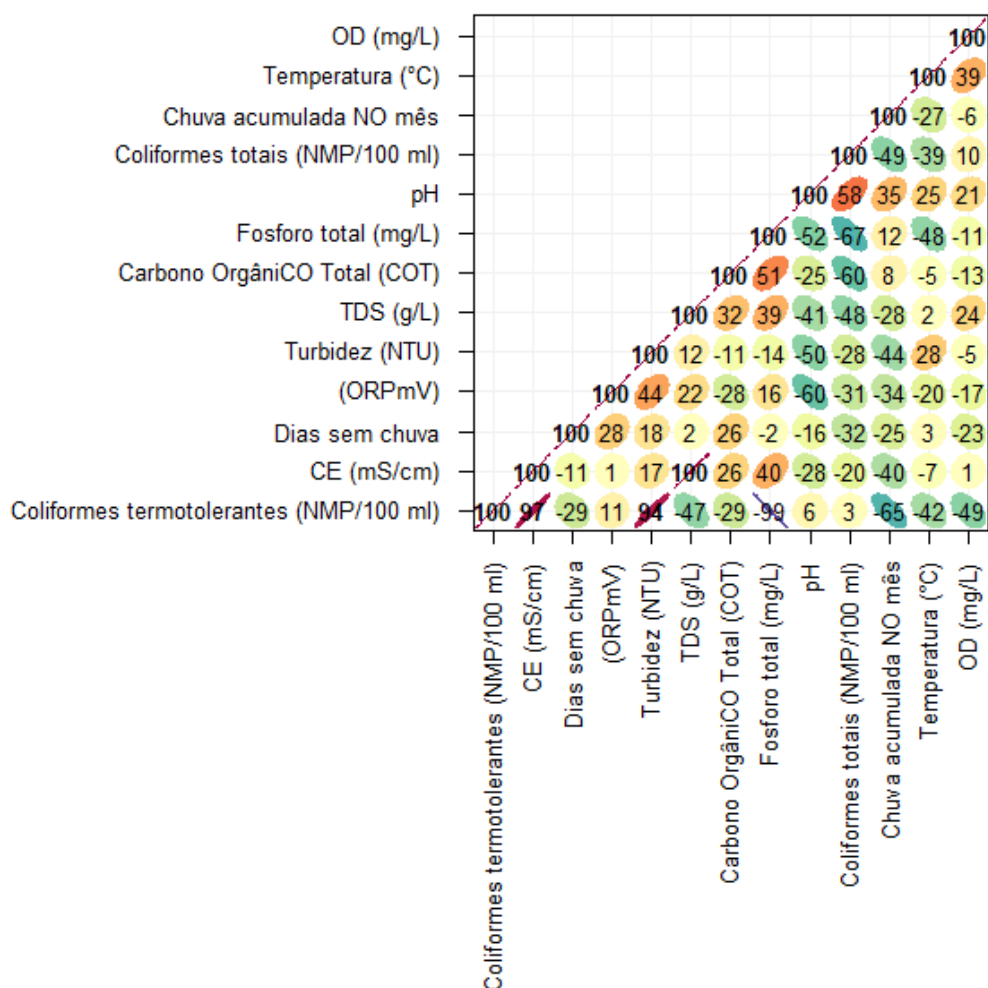
Legenda: a linha pontilhada apresenta os limites da CONAMA 430/2011 para os corpos hídricos de água doce classe III.

Fonte: O autor, 2023.

De acordo com os resultados obtidos, ao comparar os parâmetros analisados, foi encontrada uma alta significância na correlação entre os coliformes termotolerantes e tanto a condutividade elétrica (97) quanto os valores de turbidez (94). Esse resultado corrobora a afirmação de Silva et al. (2015), que destacam que a presença de sólidos, matéria orgânica e turbidez contribuem para uma maior retenção e manutenção da infectividade de microrganismos em águas e efluentes. De acordo com os autores, os microrganismos em meio aquático frequentemente aparecem agregados a partículas sólidas, que os protegem de fatores que podem causar sua inativação (Figura 52).

Outro dado relevante foi a correlação observada entre o fósforo total e a condutividade elétrica, que apresentou uma aderência muito forte (100). Esse comportamento é comumente observado quando há degradação da qualidade da água em rios (Araújo et al., 2018).

Figura 52 - Análise de correlação entre os parâmetros de qualidade de água obtidos no jardim de chuva da escola Eliezer Max.



Fonte: O autor com os resultados obtidos da variação média na concentração dos parâmetros de qualidade da água do jardim, 2024.

Tabela 12 - Resultados de qualidade da água na entrada e saída do sistema, a partir da Precipitação Direta (PD), First Flush (FF) e Jardim de Chuva (JC).

	Entrada - First Flush					Saída - Jardim de Chuva					ΔC (%)
	n	média	mínimo	máximo	σ	n	média	mínimo	máximo	σ	
pH	9	5,86	5,11	6,37	0,60	27	5,39	4,14	7,51	0,97	-9,0
Oxidation Reduction potential (ORPmV)	9	166,56	98,00	290,00	60,80	27	306,56	140,00	470,33	95,37	38,6
CE (mS/cm)	8	0,13	0,03	0,29	0,10	27	0,08	0,00	0,45	0,09	-38,9
Turbidez (NTU)	8	15,74	1,70	34,00	12,62	25	57,26	0,00	206,00	61,16	345,3
OD (mg/L)	8	4,37	1,76	6,55	1,79	26	5,34	0,71	25,34	5,19	-4,3
TDS - Total dissolved solids (g/L)	9	0,07	0,00	0,19	0,07	28	0,04	0,00	0,10	0,03	-39,3
COT	9	11,0	8,2	9,0	23,6	25	9	2	45	8	-12,1
Coliformes termotolerantes (NMP/100 m)	5	35728	240	160000	69582	5	1330	1,8	5400	2305	-73,1
Coliformes totais (NMP/100 ml)	5	166320	1600	350000	123482	5	204320	1600	540000	199793	10,9
Fósforo Total	8	0,61	0,23	1,21	0,33	22	0,59	0,06	1,61	0,43	152,4
	Entrada - Precipitação direta					Saída - First Flush					ΔC (%)
	n	média	mínimo	máximo	σ	n	média	mínimo	máximo	σ	
pH	27	5,49	3,95	6,77	0,96	9	5,86	5,11	6,37	0,60	5,0
Oxidation Reduction potential (ORPmV)	27	319,36	133,00	534,67	105,53	9	166,56	98,00	290,00	60,80	-21,9
CE (mS/cm)	27	0,04	0,00	0,11	0,03	8	0,13	0,03	0,29	0,10	499,5
Turbidez (NTU)	27	3,76	0,00	12,37	3,67	8	15,74	1,70	34,00	12,62	257,5
OD (mg/L)	26	6,12	0,68	34,94	7,63	8	4,37	1,76	6,55	1,79	7,8
TDS - Total dissolved solids (g/L)	27	0,02	0,00	0,07	0,02	9	0,07	0,00	0,19	0,07	386,7
COT (mg/L)	23	5,85	1,73	13,15	3,08	9	10,98	8,24	9,00	23,60	110,6
Coliformes termotolerantes (NMP/100 m)	4	4259	1,8	17000	8494	5	35728	240	160000	69582	301229
Coliformes totais (NMP/100 ml)	4	60012	1,8	240000	119992	5	166320	1600	350000	123482	2569985
Fósforo Total	23	0,17	-0,01	0,89	0,30	8	0,61	0,23	1,21	0,33	1052,8

Legenda: n=número de amostras; σ=desvio padrão; ΔC=variação média; CE=condutividade elétrica; OD=oxigênio dissolvido; COT=Carbono orgânico total.

Fonte:

o

autor,

2023.

2.6 CONCLUSÃO DA ANÁLISE DA CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO E DAS AMOSTRAS QUALITATIVAS DE ÁGUA EM UM JARDIM DE CHUVA

O estudo do comportamento hidrológico de jardins de chuva já vem sendo realizado por grupos de pesquisa há alguns anos, porém, a grande dificuldade na obtenção de resultados práticos refere-se aos padrões comportamentais das estruturas reais. Isso ocorre porque os estudos geralmente se baseiam em modelagens computacionais que simulam condições climáticas e parâmetros de solo, muitas vezes sem dados medidos ou observados sobre a capacidade de retenção ou armazenamento dos volumes precipitados em infraestruturas verdes.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a operação de um jardim de chuva em condições reais, analisando uma estrutura que poderia ser facilmente construída pela população. De maneira geral, o jardim instalado no Colégio Eliezer Max apresentou as características e critérios técnicos necessários para atender ao estudo proposto.

Durante o período de estudo, ocorreram três eventos pluviométricos considerados fortes, com valores máximos entre 40 e 50 mm/h, embora nenhum tenha ultrapassado 50 mm/h. O solo do jardim apresentou uma composição de 62% de areia em relação às partículas totais, o que conferiu alta taxa de infiltração durante o experimento.

Na análise do nível de água no jardim, a utilização do linígrafo não apresentou resultados satisfatórios, provavelmente devido à característica do jardim de não possuir sua base impermeabilizada. Outras metodologias, como infiltrômetros ou técnicas para medir a umidade ou saturação do solo, poderiam ter fornecido resultados mais precisos.

O teste de infiltração com os anéis concêntricos se mostrou bastante eficaz para o experimento. Os resultados deste teste foram utilizados tanto para calcular a capacidade de armazenamento de água do jardim quanto para alimentar os modelos computacionais, apresentando resultados superiores aos sugeridos pelo modelo Rosetta para os valores de infiltração no solo.

Na avaliação da capacidade de retenção de água pelo jardim de chuva, com base nos coeficientes da equação de chuva do bairro Laranjeiras, na cidade do Rio de Janeiro, constatou-se que o jardim possui uma capacidade ociosa de 4,40 m³. Assim, considerando as atuais condições de drenagem e localização, foi determinado que o jardim de chuva poderia ser dimensionado em 6,3% da área de captação de água da chuva para exercer suas funções de retenção sem causar extravasamentos.

A modelagem hidrológica com o software *Hydrus* 1D permitiu testar a resposta do jardim de chuva a diferentes valores de precipitação ocorridos na região. Os resultados mostraram que, mesmo durante o evento mais intenso de chuva entre 2021 e 2023, o jardim foi capaz de reter todo o volume precipitado na área de captação de água dos telhados monitorados no Colégio Eliezer Max, permitindo posterior infiltração da água no solo.

O jardim de chuva também apresentou bons resultados na retenção de poluentes provenientes do escoamento superficial dos telhados da escola. Observou-se uma redução de 73% na quantidade de coliformes termotolerantes e uma redução de 39% nos sólidos totais dissolvidos após a passagem da água pelo jardim de chuva. No entanto, os valores de turbidez aumentaram em 345% após a passagem pelo jardim. Vale ressaltar que, ao comparar as amostras individualmente, foi possível verificar que esses dados poderiam ter sido influenciados pelo revolvimento do solo durante a instalação do tubo de monitoramento no jardim. Portanto, é necessário que o terreno passe por um período de acomodação após a instalação do sistema de monitoramento. Esse período poderia ser feito por meio do encharcamento do solo após o plantio, para garantir a estabilização do terreno.

Ao utilizar uma estrutura já instalada e com pouca possibilidade de modificação, como foi o caso do jardim utilizado nesta pesquisa, o estudo ficou limitado na avaliação de parâmetros hidrológicos. Recomenda-se que, para medições futuras em jardins de chuva, sejam instalados sensores para avaliar o extravasamento real na saída dos dutos do jardim. Além disso, a instalação de câmeras de monitoramento também pode ser uma solução eficaz para acompanhar o comportamento do jardim em tempo real.

CAPÍTULO 3 – Entraves e propostas para a expansão da técnica de Jardins de Chuva no Brasil

3.1 INTRODUÇÃO SOBRE O PROCESSO DE IMPLEMENTAÇÃO DA TÉCNICA DE JARDINS DE CHUVA

Apesar de diversos estudos demonstrarem a eficiência das Soluções Baseadas na Natureza na redução da poluição difusa, e de este ser um tema debatido e apresentado há quase 30 anos, ainda são poucos os locais no Brasil onde infraestruturas verdes foram efetivamente na gestão dos recursos hídricos urbanos.

Essa situação não ocorre apenas no Brasil. Nos Estados Unidos, país pioneiro na implementação dessas técnicas para a melhoria da gestão hidrológica de bacias urbanas, pesquisadores ainda discutem maneiras mais eficientes de difundir essa abordagem (DHAKAL; CHEVALIER, 2016). Esse tema também foi objeto de estudo de Roy *et al.* (2008) ao analisar as realidades australiana e norte-americana. Na ocasião, os autores identificaram sete condições comuns nos dois países que representavam barreiras à disseminação das Infraestruturas Verdes, são elas: 1 - incerteza sobre o custo e a efetividade da técnica; 2 - ausência de critérios e padrões de construção; 3 - responsabilidades fragmentadas; 4 - falta de capacidade técnica; 5 - ausência de políticas públicas; 6 - restrição de financiamento e 7 - resistência às mudanças.

Na Austrália, um estudo envolvendo 800 pesquisadores utilizou questionários com indagações sobre as dificuldades encontradas no país para a implementação das Infraestruturas Verdes. Como resultado, foram listados 12 problemas principais que contribuíam para esse quadro (BROWN; FARRELLY, 2009). As principais causas apontadas também se relacionam com os problemas anteriormente citados, como: governança, financiamento dos projetos, legislações como incentivo ou barreira e a própria percepção das pessoas quanto à efetividade da técnica ou relutância às mudanças.

Na Europa, dois estudos focaram nas dificuldades apresentadas no Reino Unido quanto à disseminação das técnicas de drenagem sustentável. As pesquisas britânicas identificaram desafios semelhantes aos encontrados nos estudos realizados nos EUA e na Austrália, como questões relacionadas à governança, financiamento e percepção das pessoas (MATTHEWS et al, 2015; O'DONNELL et al, 2017).

Dessa forma, conforme indicado pela maioria dos estudos citados, é comum, independentemente do local, que os problemas sejam similares, envolvendo governança, financiamento, legislação, dificuldades na compreensão das técnicas, bem como dúvidas sobre os custos e a efetividade das estruturas.

No Brasil, não foram encontrados registros sistemáticos sobre a análise dos desafios relacionados à implementação de infraestruturas verdes. Assim, esta tese busca avaliar as dificuldades específicas do contexto brasileiro, com o objetivo de subsidiar futuras discussões sobre o tema e propor direcionamentos tanto para pesquisas científicas quanto para gestores da área.

3.2 OBJETIVOS DO CAPÍTULO QUANTO AOS ENTRAVES PARA A IMPLANTAÇÃO DE JARDINS DE CHUVA NO BRASIL

Identificar por meio de análise de legislações, entrevistas com profissionais da área ambiental, levantamento de artigos científicos e matérias jornalísticas, os possíveis entraves para a divulgação e implantação da técnica de Infraestrutura Verde no Brasil.

3.3 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DOS DESAFIOS PARA A IMPLANTAÇÃO DE JARDINS DE CHUVA NO BRASIL

A pesquisa foi subdividida em duas fases: na primeira, foram identificadas situações que pudessem agir como barreiras para a implementação da Infraestrutura Verde, com exemplos nacionais e

internacionais disponíveis na bibliografia, assim como a opinião de especialistas na área.

Na segunda fase, foram avaliadas legislações existentes, tanto federais, quanto estaduais e municipais, sobretudo dos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Bahia, que tratassem das Infraestruturas Verdes ou outras denominações e tipologias de conversão das cidades em núcleos urbanos ambientalmente mais sustentáveis. Por fim, com base nos resultados obtidos, sugestões foram elaboradas com o intuito de dar prosseguimento à pesquisa sobre o tema e auxiliar na implementação de jardins de chuva e outras Soluções Baseadas na Natureza nas cidades brasileiras.

3.3.1 Barreiras para a implementação de projetos de infraestrutura verde no mundo e similaridades com a situação brasileira

A pesquisa sobre as dificuldades encontradas para a implementação da infraestrutura verde no Brasil e no mundo foi realizada por meio de leituras de artigos científicos, entrevistas em jornais, páginas eletrônicas destinadas à temática e anais de congressos da Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRHidro).

No levantamento realizado, foram identificados pontos consensuais entre os estudos e matérias encontradas; sendo assim, optou-se por seguir a linha do estudo de Dhakal e Chevalier (2016), por ser considerado o mais atual e abrangente sobre o tema.

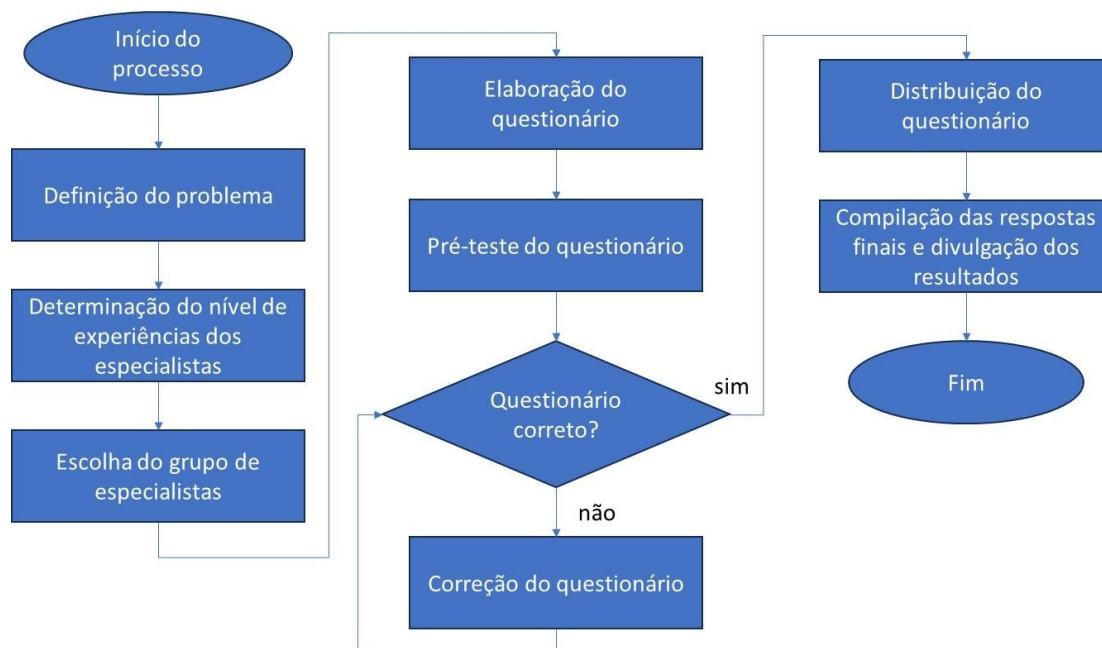
Desta forma, os aspectos encontrados foram divididos em 5 (cinco) grandes temas, relacionados às barreiras legais:

- nas esferas federal e estaduais;
- na esfera municipal;
- de governança;
- recursos: financiadores, construtivos e humanos e
- cognitivas.

Uma vez que poucos foram os resultados obtidos sobre a situação brasileira, foi elaborado um questionário através do aplicativo de criação de formulários online (*Google forms*). Este formulário foi submetido à apreciação

de especialistas com conhecimento da área no Brasil, de acordo com procedimento apresentado pelo fluxograma da Figura 53.

Figura 53 - Fluxograma das etapas da aplicação do questionário.



Fonte: Adaptado de MARIOTTONI; CANADA, 2018.

Esse questionário foi submetido a pesquisadores das áreas de meio ambiente e hidrologia, gestores de órgão ambientais, profissionais liberais da área de sustentabilidade ambiental, agentes políticos e alunos de graduação envolvidos na temática ambiental. O objetivo foi coletar percepções e experiência relacionadas aos recursos hídricos no Brasil. Para garantir a confidencialidade dos participantes, o questionário foi estruturado de forma anônima, sem identificação nominal dos respondentes.

Foram realizadas duas campanhas de envio do questionário ao público-alvo. Na primeira, em junho de 2023, o questionário foi enviado por correio eletrônico a 15 membros do Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia (INEMA) e 5 coordenadores do Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM). O questionário permaneceu aberto para respostas até agosto de 2023. Contudo, apenas dois questionários foram preenchidos. Devido ao anonimato garantido aos participantes, não foi possível rastrear a origem das respostas.

Na segunda campanha, realizada em novembro de 2023, buscou-se um novo público-alvo e outra estratégia de envio, desta vez utilizando o aplicativo de mensagens instantâneas *WhatsApp*. O questionário foi enviado diretamente para 18 membros do INEMA e da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia (SEMA), representando gestores públicos da área ambiental.

Para diversificar o público-alvo, o questionário também foi compartilhado em um grupo privado de uma rede social, formado após o evento nacional da Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRHidro) em dezembro de 2021. Esse grupo da Câmara Técnica da Associação reúne 34 profissionais, entre professores universitários e de escolas técnicas, pesquisadores e gestores de órgãos ambientais. Além disso, o questionário foi enviado para 5 professores universitários da área, 5 profissionais ligados a organizações não governamentais (ONGs) e 5 políticos vinculados à temática ambiental, totalizando um esforço amostral de 62 pessoas. Destas, 39 participaram efetivamente da pesquisa.

O questionário foi elaborado com base em temas levantados na pesquisa bibliográfica e formulado com perguntas diretas, oferecendo até cinco opções de resposta por item, com possibilidade de seleção múltipla. Essa abordagem visou ampliar a abrangência das informações obtidas. Os participantes foram incentivados a refletir sobre sua familiaridade com as nomenclaturas e técnicas de infraestrutura verde e, posteriormente, a avaliar as possíveis dificuldades de implementação dessas estratégias no Brasil.

Para a aplicação do questionário, foi realizada a consulta ao Conselho de Ética da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), a fim de verificar a necessidade de aprovação formal da pesquisa. Em resposta, foi encaminhada a Resolução nº 510/2016, a qual estipula, em seu Artigo 1º, que a proposta do estudo não se enquadra nos critérios de submissão obrigatória ao Conselho de Ética, conforme a seguir:

Art. 1 – Esta resolução dispõe sobre as normas aplicáveis a pesquisa em Ciências Humanas e Sociais cujos procedimentos metodológicos que envolvam a utilização de dados diretamente obtidos com os participantes ou de informações identificáveis ou que possam acarretar riscos

maiores do que os existentes na vida cotidiana, na forma definida nesta Resolução.

Parágrafo único – Não serão registradas nem avaliadas pelo sistema CEP/CONEP:

I – pesquisa de opinião pública com participação não identificada.

3.3.2 Pesquisa bibliográfica sobre programas governamentais e legislações aplicadas

O levantamento das legislações existentes no Brasil foi realizado por meio de pesquisas livres em mecanismos de busca na internet, incluindo matérias jornalísticas sobre programas de implantação, novas legislações e entrevistas, abrangendo os estados da Bahia, Rio de Janeiro e São Paulo. Após essa etapa inicial, as legislações mencionadas nos artigos foram pesquisadas diretamente, incluindo suas normas, anexos e portarias associadas.

Para ampliar o levantamento, foram utilizadas palavras-chave em português, tais como: “jardim de chuva”, “biovaletas”, “piso permeável”, “piso drenante”, “telhado verde” e “captação de água da chuva”, combinadas com os operadores “AND” e “legislação”. Essa estratégia de busca resultou em páginas que continham pelo menos duas dessas palavras-chave, as quais foram analisadas detalhadamente para identificar números de leis e decretos relevantes ao tema.

As legislações encontradas foram catalogadas em uma tabela, organizada segundo a metodologia proposta pelo Grupo de Trabalho da Câmara Técnica de Águas Urbanas da ABRHidro. Esse grupo, em trabalho ainda em desenvolvimento, busca consolidar um banco de dados sobre as legislações existentes no país. A partir dessa metodologia, foram registradas as seguintes informações para cada norma identificada:

- Número;
- Nível (federal, estadual ou municipal);

- Local de publicação;
- Tipo de ação abordada para manejo de águas pluviais (se estrutural, isto é, se uma intervenção física, ou se conceitual);
- Se estrutural, o tipo de estrutura física;
- O objetivo, se fiscal, obrigação, diretriz ou outros;
- Se traz alguma especificação técnica e quais; e
- Se menciona qualidade de água

As legislações foram lidas integralmente, extraíndo-se informações essenciais para a análise. Inicialmente, registrou-se a identificação da norma, incluindo número, ano de publicação e esfera de governo responsável (federal, estadual ou municipal), bem como o local de publicação. Em seguida, foi realizada a tipificação da ação abordada na norma, identificando se esta determinava a instalação ou desenvolvimento de uma estrutura física específica ou se tinha como objetivo funcionar como diretriz orientadora para outras ações.

Posteriormente, foi descrito o objetivo principal da norma: se oferecia incentivos fiscais ou financeiros aos usuários, ou se estabelecia obrigações para construções existentes ou futuras. Por fim, analisou-se se a norma abordava a gestão da qualidade da água, incluindo parâmetros técnicos, metas ou obrigações relacionadas ao tema, e se previa a utilização de instrumentos educacionais para promover Soluções Baseadas na Natureza.

Com base nessas informações, foi elaborada uma matriz comparativa das legislações selecionadas, permitindo identificar similaridades, diferenças e lacunas nas normas analisadas.

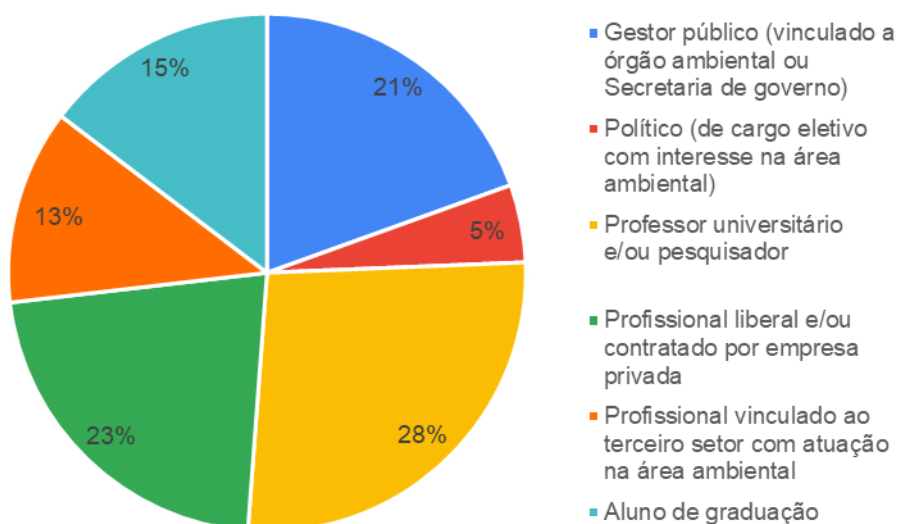
3.4 RESULTADOS DA PESQUISA SOBRE OS ENTRAVES PARA A IMPLANTAÇÃO DE JARDINS DE CHUVA NO BRASIL

3.4.1 Barreiras para a implementação de projetos de infraestrutura verde no mundo e sua similaridade com a situação brasileira

A pesquisa foi conduzida com profissionais da área ambiental, especialmente de recursos hídricos, com o objetivo de apresentar a percepção desses quanto ao conhecimento e a aplicação de técnicas de infraestrutura verde no Brasil. A seleção dos entrevistados seguiu o critério de formar um público diversificado, permitindo observar diferentes experiências e pontos de vista. Considerando o baixo número de participantes, os resultados podem ser considerados insuficientes para confirmar a representatividade de uma categoria específica. No entanto, possuem valor exploratório, com potencial subsidiar futuras pesquisas referentes ao tema.

No total, 39 pessoas participaram voluntariamente da pesquisa. Destas, 28% (11 participantes) eram professores universitários ou pesquisadores; 21% (8 participantes) gestores de órgão públicos vinculados a secretarias estaduais ou municipais de meio ambiente; 23% (9 participantes), profissionais liberais; 15% (6 participantes), alunos do curso de engenharia ambiental; 13% (5 participantes), profissionais do terceiro setor; e 5% (2 participantes), agentes políticos com atuação na temática ambiental (Figura 54).

Figura 54 - Caracterização do perfil profissional do entrevistado.



Fonte: O autor com base nos resultados obtidos pelo questionário submetido aos especialistas da área, 2024.

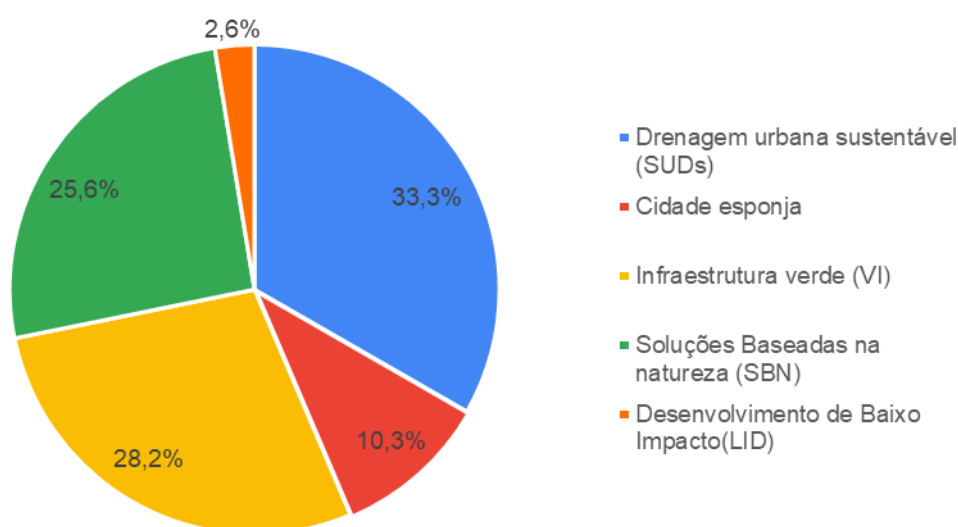
Quando questionados sobre qual termo seria mais adequado para ser utilizado no Brasil, o termo “Drenagem Urbana Sustentável” foi o mais citado entre os entrevistados, com 33% da preferência, seguido de “Infraestrutura

Verde”, mencionado por 28,2% (Figura 55). A nomenclatura Drenagem Urbana Sustentável tem origem no termo inglês *Sustainable Urban Drainage Systems* ou SUDS, criado na Inglaterra, no final dos anos 1980 (FLETCHER et al., 2015).

O termo “Drenagem Urbana Sustentável” é considerado esclarecedor e foi o mais indicado pelos professores universitários, especialmente em contextos que o associam à gestão da drenagem de águas pluviais urbanas. Esse é o sentido atribuído ao termo nos países que o adotam. No Brasil, pode ser considerado autoexplicativo, o que constitui uma vantagem em termos de compreensão e aceitação.

Embora “Soluções Baseadas na Natureza” seja um termo amplamente utilizado na literatura científica brasileira, foi citado por apenas 25,6% dos entrevistados. Nesse contexto, a menção ao termo “Cidade Esponja” por 10,3% dos respondentes também foi surpreendente, pois, juntamente com o conceito de telhado verde, é um dos mais frequentemente utilizados pela mídia tradicional.

Figura 55 - Opiniões sobre qual nomenclatura deveria ser utilizada no Brasil para descrever as técnicas alternativas para o manejo das águas urbanas, obtidas da aplicação do questionário.



Fonte: O autor através das informações colhidas com o questionário desenvolvido por esta pesquisa, 2024.

Cabe ressaltar que, no ano de conclusão desta tese, em maio de 2024, ocorreu a maior cheia já registrada no Rio Guaíba, localizado na Região Sul do país, na cidade de Porto Alegre. O evento hidrológico recebeu ampla cobertura das mídias nacionais e internacionais devido à magnitude dos danos causados. Na ocasião, o nível do Rio Guaíba ultrapassou a marca histórica registrada na década de 1940, de 4,75 metros, e alcançou 5,35 metros. Isso resultou no rompimento do sistema de contenção composto por diques e comportas, instalados após a cheia histórica do século anterior (G1 RS, 2024). Além de Porto Alegre, outras cidades situadas à montante da capital gaúcha e às margens dos afluentes do Rio Guaíba também foram severamente atingidas pelo grande volume de precipitação ocorrido em maio de 2024.

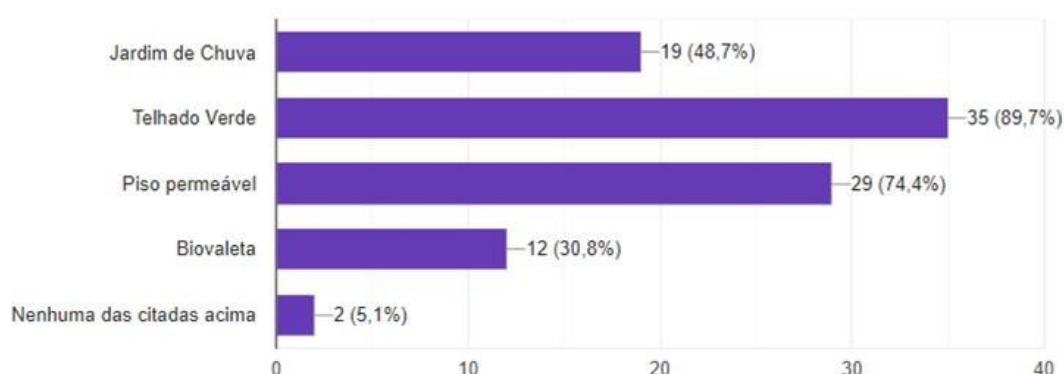
Até a data de conclusão desta pesquisa, 169 pessoas haviam perdido suas vidas na tragédia, enquanto 44 permaneciam desaparecidas. Conforme boletim da Defesa Civil Estadual, 626,7 mil pessoas ainda não haviam retornado às suas casas, das quais 45 mil encontravam-se em abrigos públicos (ALMEIDA, 2024).

Devido aos eventos ocorridos na Região Sul, em maio de 2024, houve intenso debate na imprensa sobre medidas que deveriam ser adotadas para evitar a repetição de catástrofes semelhantes. Especialistas frequentemente mencionaram as chamadas "cidades esponjas" chinesas como exemplos de adaptação urbana para enfrentar as mudanças climáticas. Reportagens e entrevistas destacaram a contribuição do arquiteto e urbanista Kongjian Yu, idealizador do programa chinês, que detalhou a concepção da técnica. Assim, acredita-se que os resultados desta pesquisa, conduzida no final de 2023, antes da cheia no Sul, poderiam apresentar diferenças caso o levantamento fosse realizado atualmente.

A questão de número 3 do questionário buscava identificar, dentre as técnicas mais utilizadas de Infraestrutura Verde, aquela com que o entrevistado tinha maior familiaridade. Entre as cinco opções de resposta disponíveis, 89,7% indicaram os Telhados Verdes como a técnica de Infraestrutura Verde mais popular. Os Pavimentos Permeáveis também foram amplamente mencionados, com 74,4% das respostas. Por outro lado, os Jardins de Chuva foram citados por menos da metade dos entrevistados (48,7%), sendo mencionados por apenas um entre sete gestores públicos entrevistados.

Apesar do baixo número de respondentes nessa categoria, os dados sugerem um possível desconhecimento da técnica entre gestores de órgãos ambientais (Figura 56).

Figura 56 - Quantitativo dos participantes que tinham conhecimento sobre as técnicas de Infraestrutura Verde indicadas no questionário.

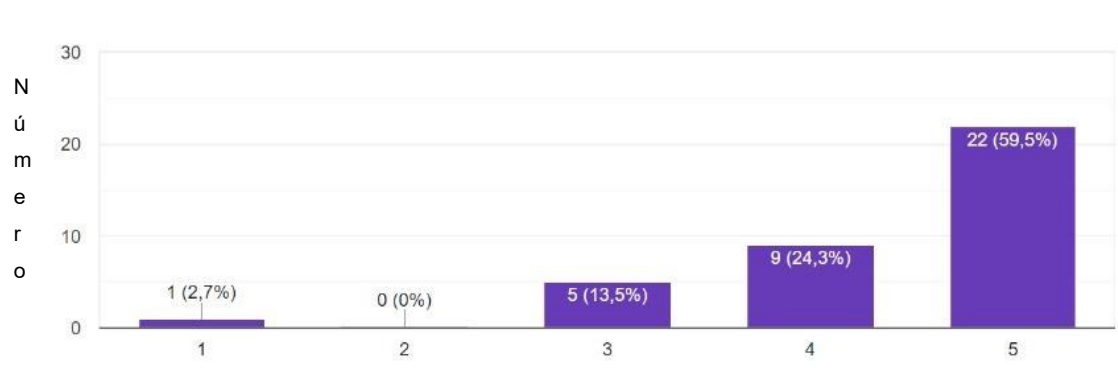


Legenda: O número de participantes que indicaram a técnica de infraestrutura Verde; entre parênteses a representação deste número em porcentagem em relação ao total de entrevistados.

Fonte: Gráfico gerado pelo programa *google forms* com os dados dos entrevistados, 2024.

Uma vez que grande parte dos participantes conhecia ao menos alguma das técnicas de Infraestrutura Verde, foram feitas perguntas sobre suas percepções em relação aos fatores que poderiam dificultar a implementação dessas técnicas no Brasil. Assim como no estudo de Dhakal e Chevalier (2017), prevaleceu o desconhecimento das técnicas de Infraestrutura Verde pela população, sendo esse fator indicado como muito importante para a não popularização destas, opção escolhida por 59% dos entrevistados (Figura 57).

Figura 57 - Grau de relevância do desconhecimento das Infraestruturas Verdes para a baixa utilização dessas técnicas alternativas no Brasil.



Legenda: Escala do grau de importância de 1 a 5, sendo 1 para pouco importante e 5 para muito importante. Nas barras, o primeiro número é a quantidade de pessoas que responderam, e entre parênteses, a representação deste valor em porcentagem em relação ao total de entrevistados.

Fonte: Gráfico gerado pelo programa *google forms* com os dados dos entrevistados, 2024.

O desconhecimento dos parâmetros construtivos das SbN foi citado por 50% dos entrevistados como um fator de muita importância (figura 58). Este fator é recorrente quando perguntado ao público a causa da não utilização das medidas alternativas para retenção da água da chuva (DING et al., 2019).

Nesta mesma linha de desconhecimento, também pode ser enquadrada a desconfiança quanto à real efetividade da implantação de Infraestrutura Verde. Neste caso, os resultados não foram unânimes, com a percepção dos entrevistados variando de pouco a muito importante, conforme observado no Figura 59.

Figura 58 - Importância da falta de parâmetro técnico construtivo para a disseminação das técnicas de Infraestrutura Verde no Brasil, conforme a resposta dos entrevistados.

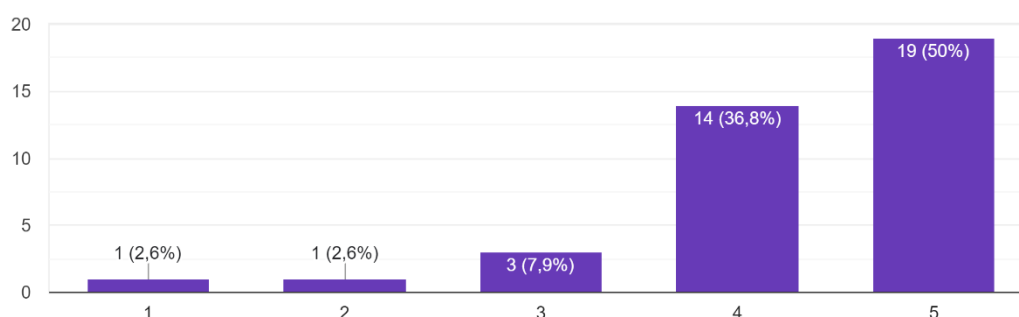
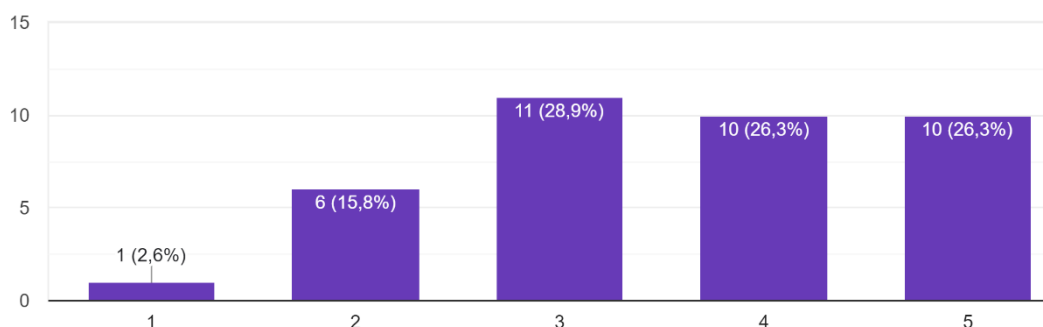


Figura 59 - Importância atribuída às dúvidas quanto à eficiência das Infraestruturas Verdes para sua baixa utilização no Brasil, de acordo com os participantes da pesquisa.



Legenda para os gráficos 58 e 59: Escala do grau de importância de 1 a 5, sendo 1 para pouco importante e 5 para muito importante. Nas barras, o primeiro número é a quantidade de pessoas que responderam, e entre parênteses, a representação deste valor em porcentagem em relação ao total de entrevistados.

Fonte: Gráfico gerado pelo programa *google forms* com os dados dos entrevistados, 2024.

Alguns estudos atribuem o receio quanto à implementação de novas tecnologias ao desconhecimento de seus custos associados, tanto para a instalação quanto para a manutenção. Neste sentido, um dos passos adotados por outros países é a publicação de manuais construtivos e informativos, como pode ser observado nos manuais de Portland, Kansas City, Montgomery Country (DER, 1999; PDT, 2005; DER, 2007; UACDC, 2010; MARC & APWA, 2012), da Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA, 2015), da bacia de Okanagan, no Canadá (OBWB, 2021), de Vitoria-Gasteiz, na Espanha (CEA, 2014) e do Japão (KABISCH et al., 2017). Embora os participantes não considerem os custos da implantação e manutenção das Infraestruturas Verdes como um fator de muita importância para a adoção da técnica no Brasil (Figura 60), a falta de incentivo financeiro governamental foi considerada por 50% dos que responderam ao questionário como um entrave muito importante (Figura 61).

Cabe esclarecer que quando perguntado em outras pesquisas, a percepção das mudanças climáticas também aparenta ser um fator que estimula o apoio da população ao pagamento pela implementação das Infraestruturas Verdes, como foi visto por Badura et al. (2021) na República Tcheca.

Figura 60 - Importância atribuída pelos participantes da pesquisa ao alto custo construtivo para a instalação.

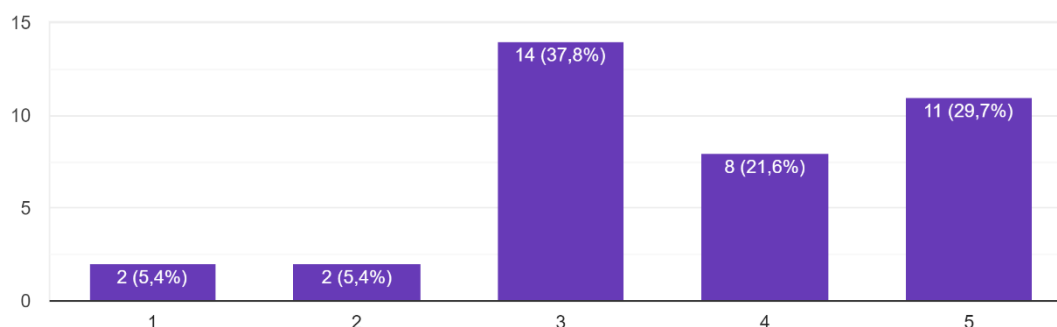
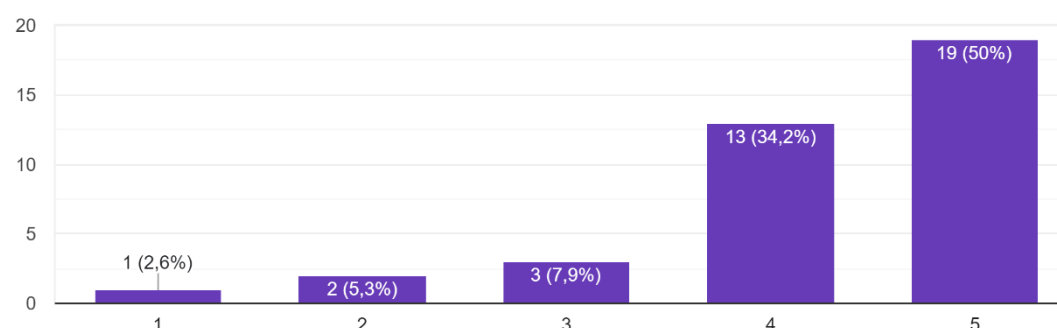


Figura 61 - A importância atribuída pelos participantes da pesquisa à ausência de incentivo financeiro por parte do governo para a popularização das técnicas no Brasil.



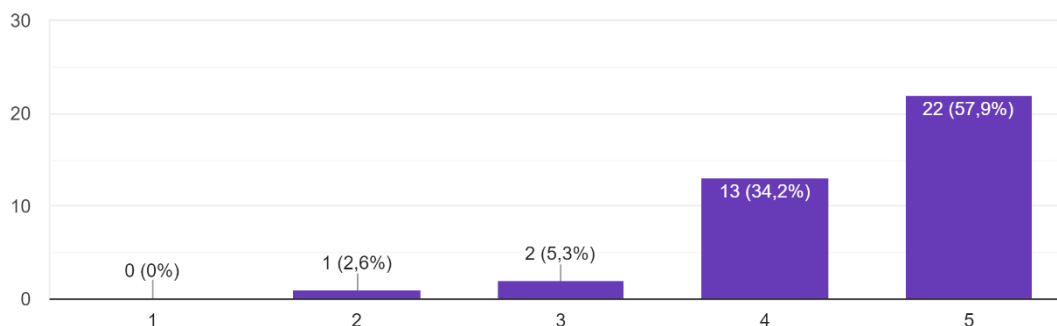
Legenda para os gráficos 60 e 61: Escala do grau de importância de 1 a 5, sendo 1 para pouco importante e 5 para muito importante. Nas barras, o primeiro número é a quantidade de pessoas que responderam, e entre parênteses, a representação deste valor em porcentagem em relação ao total de entrevistados.

Fonte: Gráfico gerado pelo programa *google forms* com os dados dos entrevistados, 2024.

Ao serem questionados sobre a existência de legislações sobre o tema, cerca de 73% dos entrevistados informaram não haver normas sobre o tema em seus estados e municípios; 21% disseram haver; enquanto 6% não souberam responder. Paralelamente, 94% dos participantes consideraram importante o fato de não haver legislação destinada ao tema para a baixa disseminação das práticas no país (Figura 62). Apesar destes resultados, vale destacar que praticamente todos os participantes da pesquisa residem nas cidades do Rio de Janeiro, Salvador, São Paulo, Belo Horizonte, Distrito Federal ou alguma capital do nordeste. Nestes locais, é muito provável que existam uma ou mais normas sobre telhados verdes, jardins de chuva, trincheira de infiltração ou reservação de água da chuva, como é o caso das cidades do Rio de Janeiro, São Paulo e Salvador. Desta forma, as respostas

dos entrevistados corroboram com o problema já identificado da baixa divulgação das técnicas.

Figura 62 - Importância atribuída pelos participantes da pesquisa à ausência de legislações que obriguem ou estimulem a implantação das técnicas para sua popularização no Brasil.



Legenda: Escala do grau de importância de 1 a 5, sendo 1 para pouco importante e 5 para muito importante. Nas barras, o primeiro número é a quantidade de pessoas que responderam, e entre parênteses, a representação deste valor em porcentagem em relação ao total de entrevistados.

Fonte: Gráfico gerado pelo programa *google forms* com os dados dos entrevistados, 2024.

3.4.1.1 - Barreiras legais nas esferas federais e estaduais

Diferentemente do Brasil, os EUA possuem pouca ingerência sobre as propriedades particulares, o que é associado com a Quinta Emenda Constitucional, que proíbe a intervenção do Estado sobre a propriedade privada com o objetivo de atender ao interesse público “sem justa compensação” (DHAKAL; CHEVALIER, 2016). Enquanto que ao menos no Brasil, essa é a essência dos projetos de instalação de Infraestrutura Verde, uma vez que o ente público obriga o proprietário a adotar medidas a favor da coletividade.

No Brasil, em nome do bem comum, o Estado pode solicitar que os lotes privados adotem medidas que beneficiem a drenagem coletiva, como é feito atualmente com novos empreendimentos na Cidade do Rio de Janeiro, através da lei nº 9.164 / 2020. Essa norma legal define que as novas construções plurifamiliares são obrigadas a adotar medidas como captação de água de chuva para retardar sua dispersão e reduzir a energia do escoamento.

O Brasil adota a gestão compartilhada pelas esferas federal, estadual ou da Bacia Hidrográfica, assim como, localmente, pelo município, quando o impacto se restringe a este (TUCCI, 2020).

A principal legislação que rege os recursos hídricos no país, a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), lei 9433/97 (BRASIL, 1997), passou por alteração recente ao abordar a gestão das águas pluviais de forma mais progressista. Na Lei 13.501 (BRASIL, 2017), foi inserido no inciso IV, o artigo 2º, que tem como objetivo:

“IV - Incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais.”

Cabe ressaltar ainda, que a PNRH elenca, em seu artigo 36, a possibilidade de cobrança pela drenagem e indica um incentivo para dispositivos de retenção de vazão e poluição:

“Art. 36. A cobrança pela prestação do serviço público de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas deve levar em conta, em cada lote urbano, os percentuais de impermeabilização e a existência de dispositivos de amortecimento ou de retenção de água de chuva ...”

A cobrança pela drenagem urbana é vista como uma das maneiras de aprimorar e difundir a reservação de água no lote e o aproveitamento da água pluvial, com baixos custos para o usuário e efetivas medidas sustentáveis dentro dos lotes (COELHO; OHNUMA JR.; FONSECA, 2022). Atualmente, encontra-se em elaboração dentro da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) uma norma de referência para projetos de drenagem urbana, e que além da cobrança, incorpora técnicas de SbN como uma técnica a ser utilizada.

Desta forma, a lei avança sobre os conceitos do manejo das águas pluviais previstos no Plano Nacional de Saneamento Básico (PNSB), Lei 11.445/07 (BRASIL, 2007), que mesmo com a atualização da Lei nº14.026/2020 (BRASIL, 2020), não incorporou conceitos de manejo das águas pluviais com técnicas de Infraestrutura Verde.

O PNSB indica o Plano de Bacia como instrumento de gestão dos recursos hídricos, cabendo a este definir critérios que atendam às especificidades locais, como a definição dos volumes de água a serem utilizados pela comunidade e as medidas restritivas que devem ser impostas em momentos de escassez hídrica. Dessas definições, se excluem as autorizações de uso da água, como a outorga e o enquadramento dos corpos hídricos, que competem aos órgãos ambientais.

O PNSB prevê ainda o Plano de Saneamento, que deve ser constituído, dentre outros, pelo Plano de Drenagem Urbana. A legislação indica que o Plano de Bacia também deve servir como norteador para o Plano de Drenagem Urbana.

Segundo Tucci (2020), há um problema nesse arcabouço legal porque os planos de drenagem devem seguir os padrões de qualidade de água dos planos de bacia. No entanto, os planos de bacia não se atentam para os impactos que a drenagem acarreta para bacias à jusante. Desta forma, não é levada em consideração a qualidade ou a quantidade de água que pode ser oriunda da drenagem.

Ramos e Campos (2020) observam ainda que deixar a responsabilidade para a implementação das SbN para planos de drenagem dependentes dos planos de bacia aparenta ser uma descentralização exagerada do que deveria ser contemplado como parte do plano estadual ou mesmo do plano nacional, considerando um ponto de vista macro estratégico. Para os autores, concentrar a responsabilidade nos Planos de Bacia pode conduzir ao isolamento de boas iniciativas, uma vez que boas experiências não necessariamente serão replicadas, pois a decisão cabe à livre iniciativa de cada comitê de bacia. Isto ocorre também com a descontinuidade de planos locais, após as mudanças de governos.

Ao analisar o ocorrido nos EUA, Dhakal e Chevalier (2017) observaram que os princípios de gestão da drenagem americana são baseados em duas

diretrizes principais, que são, por vezes, opostas: o princípio da Lei da Drenagem Natural, segundo o qual é proibido alterar o caminho natural da drenagem, e o princípio da Lei do Inimigo Comum, segundo o qual, em caso de risco iminente em sua propriedade, o proprietário pode adotar a medida necessária para interromper este risco, mesmo que isso prejudique terreno a jusante. Acontece que, pela ausência de necessidade de autorização por órgão responsável, os proprietários frequentemente se valem deste último princípio para realizar intervenções em suas propriedades, independentemente dos prejuízos a jusante.

No Brasil, toda a legislação ambiental existente, a começar pela Política Nacional do Meio Ambiente, Lei nº 6.938 de 1981, exige que qualquer modificação no corpo hídrico deve ser submetida a um instrumento regulador, neste caso, a outorga (BRASIL, 1981). Então, mesmo que o proprietário se sinta prejudicado por um corpo hídrico localizado em seu terreno, ele deve se submeter ao processo de autorização de intervenção junto ao órgão ambiental competente, geralmente o estadual. Desta forma, será analisado o impacto da intervenção e dificilmente será autorizada modificação que cause prejuízo para a comunidade a jusante do terreno.

Por outro lado, a legislação brasileira sobre a qualidade da água dos rios pode ser considerada permissiva em relação aos rios urbanos. A legislação, por meio da Resolução nº 357/2005 (CONAMA, 2005), atualizada pela Resolução nº 430 de 2011 (CONAMA, 2011), estipula padrões de qualidade da água que consideram aceitáveis níveis específicos de poluentes, dependendo do uso da água. Isso inclui o enquadramento automático no nível 2, que permite maior concentração de poluentes, aplicado frequentemente aos corpos hídricos brasileiros.

Considerando que toda a legislação brasileira relacionada aos recursos hídricos foi elaborada antes do aprofundamento dos conceitos de infraestrutura verde, as normas atuais ainda se mostram permissivas em relação a práticas que são, ao menos do ponto de vista de drenagem sustentável, condenáveis, já que desconsideram a utilização dos processos naturais como forma auxiliar.

Essa situação é evidenciada no tratamento atribuído ao controle da poluição nos rios, em que se realiza o tamponamento de corpos hídricos urbano, atribuindo-lhes a função não apenas de sistema público de drenagem,

mas também de sistema de esgotamento sanitário. O mesmo ocorre quando estações de tratamento de rios, em geral, construídas próximas às suas fozes, desconsiderando a necessidade de restaurar a biota do rio ou, ao menos, aproximá-lo de seu estado natural.

Um instrumento que pode ser utilizado para auxiliar a implementação das SbN é a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), instituída pela lei nº12.608/12. Esta lei adota a bacia hidrográfica como unidade de análise de ações de prevenção a desastres relacionados a corpos d'água, e tem como objetivo “estimular o desenvolvimento de cidades resilientes e processos sustentáveis de urbanização” (artigo 5º, inciso VI). Este instrumento deve servir também como norteador dos planos de bacia, levando a estes o conceito das SbN.

3.4.1.2 – Barreiras legislativas municipais

Assim como no Brasil, nos EUA e na Austrália, os municípios possuem suas próprias legislações para a gestão da drenagem urbana, com diferentes padrões técnicos e exigências para a implementação dos sistemas de drenagem.

Algumas cidades têm atualizado suas legislações com o objetivo de incentivar a implementação de infraestrutura verde, mesmo que indiretamente. É o caso de Porto Alegre, ao restringir a um determinado patamar o lançamento de águas pluviais dos lotes particulares para o sistema público. Essa medida incentiva os proprietários a adotarem soluções para reduzir as vazões “excedentes”.

Um dos exemplos citados por TUCCI (2020) é a área mínima permeável exigida em projetos executivos. As legislações estabelecem entre 10 e 20% de área permeável do terreno, o que, segundo o autor, contribui com a recarga do aquífero, mas não implica necessariamente na redução da vazão no sistema de drenagem urbana. Desta forma, as cidades têm optado por conceder benefícios na metragem do imóvel, sempre que áreas de drenagem forem direcionadas para áreas permeáveis ou forem atingidas metas relacionadas à

capacidade de armazenamento do volume de chuva precipitado. Essas medidas podem resultar em um aumento de até 40% nas áreas permeáveis.

Um exemplo foi o adotado pela cidade do Rio de Janeiro em seu Código de Obras atualizado, por meio da Lei Complementar nº198 de 14 de janeiro de 2019 (PCRJ, 2019), onde diz em seu artigo 1º, inciso VI, §4:

§ 4º Toda edificação, construída ou reformada, deverá adotar, preferencialmente, medidas de sustentabilidade, economia de recursos naturais e tecnologias de eficiência energética.

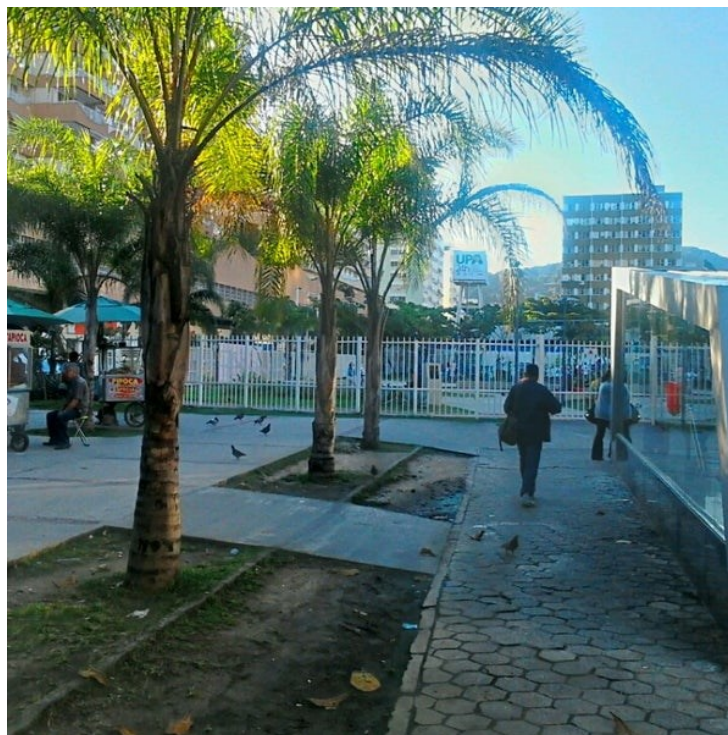
No levantamento realizado, foram encontrados manuais e cartilhas de direcionamento de projetos executivos, na maioria das vezes voltadas para o próprio ente público.

Um exemplo disso é o manual construtivo “Calçadas Cariocas” (PCRJ, 2019) que aborda temas como calçadas verdes, jardins de chuva e arborização urbana. O documento adota como padrão construtivo a norma NBR 9050 (ABNT, 2020), que trata de acessibilidade. Entretanto, apesar de recente, essa norma não contempla sistemas de drenagem ou estruturas como jardins de chuva, o que deveria ser considerado, já que essas instalações podem ser construídas abaixo do nível da calçada, tornando-se um obstáculo para a acessibilidade.

A cidade do Rio de Janeiro implantou um de seus primeiros projetos de infraestrutura verde no ano de 2012, com a abertura da Rua Nelson Mandela, no bairro de Botafogo, em um terreno onde anteriormente funcionava o canteiro de obras do metrô. Nesse local, foi instalada uma praça pública que utilizou o conceito de Soluções Baseadas na Natureza, com a aplicação de canteiros e pisos drenantes.

Na praça, foram empregados pisos permeáveis, como placas drenantes de piso e grama, além de canteiros de árvores rebaixados e sem mureta laterais. Os canteiros de árvores também foram interligados pelo solo, cobertos por placas de concreto na superfície (Figura 63).

Figura 63 - Foto dos canteiros de árvores interligados pelo solo, com divisórias superficiais, possibilitando o fluxo de água pelo solo e maior capacidade de retenção. Praça Nelson Mandela, Botafogo, Rio de Janeiro.

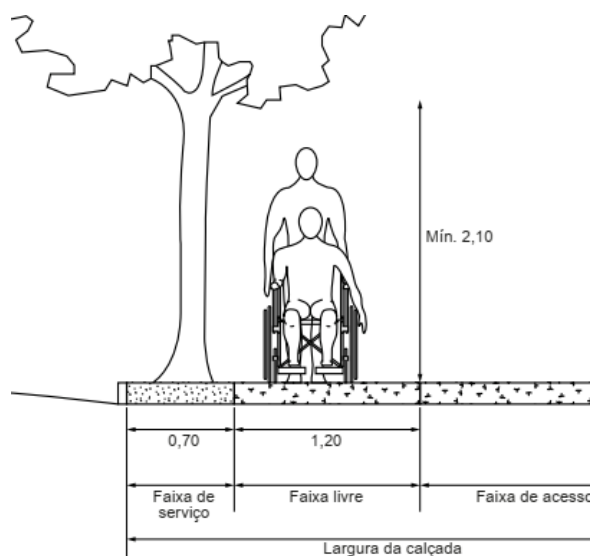


Fonte: Revista Veja Rio, 2017. Imagem obtida na página eletrônica da revista, em maio de 2024. <https://vejario.abril.com.br/coluna/as-ruas-do-rio/rua-nelson-mandela-botafogo>.

A metodologia de gradil ou piso drenante, utilizada na Rua Nelson Mandela, contudo, não está descrita na portaria da Fundação Parques e Jardins para plantio de árvores nas calçadas¹² nem na NBR 9050/2020. Essas poderiam permitir o plantio de árvores e instalação de jardins em calçadas com menos de 1,90 m, que é o limite mínimo estipulado na cidade do Rio de Janeiro (Figura 64).

¹² Portaria FPJ “N” n°111 de 9 de novembro de 2016, que estabelece norma técnica para aprovação de projeto para plantio de árvores em áreas públicas e privadas.

Figura 64 - Esquema apresentado na NBR 9050/2020, com a faixa de serviço, onde encontra-se a árvore, possui 0,70 m de largura.



Fonte: ABNT, 2020.

O primeiro Jardim de Chuva instalado na zona sul da cidade do Rio de Janeiro pela prefeitura foi construído no bairro de Copacabana, entre os anos de 2019 e 2020, como um projeto piloto (Figura 65). Para a concepção do projeto, foi escolhida uma localidade com histórico de acúmulo de água e calçadas largas, onde fosse possível realizar a intervenção. Para a instalação do jardim foi realizada a escavação da calçada a uma profundidade de 100 cm, e o canteiro foi preenchido com diferentes camadas de britas de diferentes gramaturas, manta geotêxtil, telas e terra adubada. Foram plantadas ainda espécies nativas, incluindo a *Eugenia copacabanensis*, endêmica da antiga restinga. Conforme informam os moradores do local, após a instalação da estrutura, não houve mais acúmulo de água na região (informação pessoal).

Figura 65 - Material de divulgação da prefeitura contendo as etapas da construção do jardim.



Legenda: Processo de instalação do Jardim de Chuva com numeração se referindo as etapas do projeto.

Fonte: PMRJ. <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/10004661/4289112/JardimChuva.ruaAlmteGoncalves.pdf>. Página consultada em 2020.

O jardim possui conexão com a pista de rolamento dos carros. Desta forma, a água que escoar pelo asfalto é direcionada para dentro do jardim de chuva através de sarjetas e aberturas no meio fio da calçada protegidas por grades de ferro (Figura 66).

A Prefeitura Municipal firmou parceria com a Universidade Veiga de Almeida, no projeto “Que água é essa?”, coordenado pela professora Viviane Japiassú, a fim de avaliar a influência do jardim no controle dos alagamentos na região¹³. Infelizmente, por se tratar de um local público, não foi possível a instalação dos equipamentos de monitoramento, conforme informado pela professora posteriormente.

¹³ Jardins de Chuva: universidade e prefeitura fazem parceria para estudar técnica contra alagamentos - Jornal O Globo (<https://oglobo.globo.com/rio/bairros/jardins-de-chuva-universidade-prefeitura-fazem-parceria-para-estudar-tecnica-contra-alagamentos-25143162>)

Figura 66 - Detalhe da ligação da rua com o jardim de chuva instalado no bairro de Copacabana, Rio de Janeiro, Brasil.



Fonte: O autor, 2021.

Apesar da existência de diversos documentos sobre os jardins de chuva, canteiros drenantes e outras soluções, observa-se que o conceito ainda não está amplamente difundido em projetos municipais no Rio de Janeiro.

Este fato pode ser verificado nas recentes obras de requalificação de praças realizadas pela prefeitura municipal, onde, embora tenha sido adotada a prática de alargamento das golas das árvores nas calçadas, houve redução das áreas permeáveis, com grandes áreas de grama e terra batida cobertas por placas de cimento. Também não houve implantação de jardim de chuva ou canteiros drenantes conectados à microdrenagem. Além disso, mantiveram-se as calçadas altas com mais de 20 cm acima das vias de rodagem,

impossibilitando que o escoamento superficial e a passagem da poluição difusa pelos sistemas de filtragem naturais dos canteiros existentes (Figura 67).

Figura 67 - Piso de cimento utilizado nas praças do bairro da Glória, cidade do Rio de Janeiro, em reforma realizada ao longo de 2023.



Fonte: o autor, 2024.

Esse padrão construtivo da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro pode ser observado também na imagem aérea da Praça Nossa Senhora da Glória. Em 2017, esta praça praticamente não possuía área impermeável, porém, com a reforma iniciada em 2023, teve o calçamento de terra e grama substituído por cimento (Figura 68).

Figura 68 - Praça Nossa Senhora da Glória, bairro da Glória, cidade do Rio de Janeiro, nos anos de 2023 e 2017.



Legenda: imagem superior referente ao ano de 2023, imagem inferior do ano de 2017.

Fonte: Google Earth, 2024.

Observa-se que tanto o Jardim de Chuva implementado em Copacabana, como a praça construída na Rua Nelson Mandela, em Botafogo,

não faz parte de iniciativas e políticas públicas, mas sim, de projetos pontuais elaborados por técnicos da prefeitura. O problema de projetos de governo muitas vezes é a sua descontinuidade com a mudança do mandatário, que altera diretorias e metas, além de planos e prioridades.

Por outro lado, um exemplo de sucesso na área ambiental que ocorreu na cidade do Rio de Janeiro foi o Projeto Mutirão Reflorestamento, que há 37 anos realiza o reflorestamento das encostas da cidade com vegetação nativa, substituindo a vegetação de capim exótico e invasora, além de altamente combustível e responsável por queimadas que acometeram os morros cariocas. Desde a criação do programa, por se tratar de uma ação iniciada na Secretaria de Assistência Social e na Secretaria de Meio Ambiente, por servidores deste órgão, mesmo após várias administrações o Projeto Mutirão Reflorestamento foi continuado e, até hoje, já plantou mais de 10 milhões de mudas na cidade, em uma área de mais de 3.400 hectares (PCRJ, 2020).

Portanto, um programa para implementação de jardins de chuva e estruturas de drenagem mais sustentáveis, que seja elaborado pelo corpo técnico da Prefeitura Municipal, independentemente da administração executiva central e, portanto, não vinculado somente a um governo, poderia ser uma estratégia para difundir e implementar a infraestrutura verde na cidade.

Quanto a isso cabe ressaltar que em novembro de 2024, o governo federal lançou o programa Periferia Viva, que considera em seu plano para o eixo de infraestrutura urbana, além da urbanização de favelas, a “promoção das soluções baseadas na natureza para a melhoria do ambiente urbano, redução de riscos e prevenção a desastres” (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2024).

3.4.1.3 – Barreiras de governança

Nos EUA, a gestão da infraestrutura cinza para a drenagem urbana é organizada de forma centralizada e, com isso, tem um caráter exclusivamente tecnocrata. Ocorre que a infraestrutura verde é pensada para ser gerida de forma descentralizada, com a necessidade da participação de diversos atores (DHAKAL; CHEVALIER, 2017).

A fragmentação da gestão dificulta a implementação da infraestrutura verde, como, por exemplo, quando a qualidade da água é gerida por um órgão e o controle de enchentes, por outro (DHAKAL; CHEVALIER, 2017). Isso ocorre também no Brasil e no Rio de Janeiro, onde a gestão e o monitoramento da qualidade da água são realizados periodicamente pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), órgão vinculado à Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade (SEAS), enquanto que a drenagem e o controle de inundações são feitos pela Rio-Águas, fundação pública vinculada à Secretaria Municipal de Infraestrutura.

Essa fragmentação na gestão das águas também foi observada na cidade americana de Nova Orleans e foi considerada como uma das responsáveis pela baixa capacidade de resposta apresentada após o desastre causado pela passagem do furacão Katrina, em 2005 (FIELDS et al, 2017).

Tucci (2020) aponta que a gestão para a resposta a eventos climáticos realizada de maneira emergencial como uma característica atual das cidades. Nessas situações, são adotadas medidas estruturais que visam reparar um dano ou estabilizar uma situação em colapso, ao invés de realizar o planejamento preventivo, inclusive com o uso de técnicas como a Infraestrutura Verde.

Um fator que pode colaborar bastante com esse tipo de comportamento dos municípios é a ausência de planejamento. Uma das formas de realizar esse planejamento é por meio de elaboração dos planos gestores, como o Plano Municipal de Saneamento Básico e os planos de drenagem urbana sustentável. Cabe salientar a importância da comunicação desses planos com as demais legislações, como a lei de uso do solo, que, caso contrário, podem torná-los sem utilidade.

Faria et al. (2022) observaram, em estudo recente, que muitos municípios mineiros ainda não possuíam o Plano de Saneamento Básico. Quando pesquisaram sobre o Plano de Drenagem Urbana, os autores verificaram que, de 752 municípios mineiros de pequeno porte, com menos de 50 mil habitantes, 499 deles (66%) não possuíam Plano Diretor de Drenagem Urbana.

3.4.1.4 – Barreiras financeiras

Uma das grandes dificuldades existentes na utilização das infraestruturas verdes diz respeito à monetização de sua estrutura, tanto o seu custo de implantação e manutenção, como, principalmente, os seus benefícios, o que tem sido debatido na área que se empenha em precificar os serviços ambientais (SIWIEC; ERLANDSEN; VENNEMO, 2018). Essa é uma das dificuldades para utilizar verbas destinadas à manutenção da drenagem urbana em projetos de IV.

A crescente ideia de cobrança sobre a drenagem tem sido discutida entre vários setores como uma forma eficaz de controle e melhoria da drenagem urbana, inclusive para fortalecer uma cobrança mais justa pelo serviço (CANÇADO; NASCIMENTO; CABRAL, 2006).

Se for estipulado um valor a ser cobrado por um terreno com área impermeável, onde praticamente toda a água da chuva seja direcionada para o sistema de drenagem urbana público, e esse valor for maior do que o cobrado por um terreno que desaguasse uma menor quantidade de água ou tenha formas de controle sobre sua emissão para a área externa do lote, os proprietários tenderiam a adotar medidas de reservação e aproveitamento de água da chuva.

Conforme Coelho et al. (2022), citando dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, no Brasil, 40 municípios realizam algum tipo de cobrança, direta ou indiretamente, pelos serviços de drenagem urbana.

Outra solução já bastante difundida no Brasil é fornecer incentivos para que empreendimentos residenciais e comerciais, tanto novos como antigos, implementem medidas de sustentabilidade ambiental. O principal incentivo encontrado é o IPTU verde, que oferece descontos variáveis no valor do imposto residencial para empreendimentos que atendam a determinados critérios, que variam de cidade para cidade.

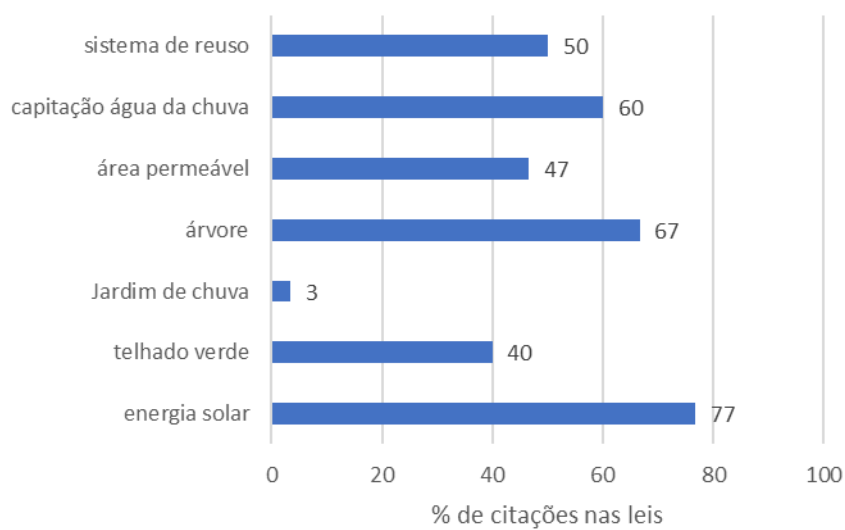
Dentre os critérios estabelecidos pelos municípios para conceder o desconto, estão medidas como a implementação de sistema de aproveitamento de energia solar, áreas de terreno com maior permeabilidade do solo, utilização de telhado verde, armazenamento de água da chuva, reuso de água, utilização

de materiais sustentáveis nas construções, separação de lixo reciclável, entre outras.

No levantamento realizado pela pesquisa em sites especializados sobre o tema, foram identificadas 30 cidades que elaboraram medidas legais para instituição de um desconto no IPTU, frequentemente denominado IPTU Verde (Tabela 13). Dessas legislações, cerca de 77% estabelecem, como um dos critérios para a obtenção do desconto, o aproveitamento de energia solar, seja para geração de energia ou aquecimento de água. Outras 67% das leis mencionam a presença de árvores na área do terreno ou na calçada em frente à residência. A captação e o aproveitamento de água da chuva foram contemplados em cerca de 60% das legislações. O Jardim de Chuva foi abordado apenas pela cidade de Salvador, como pode ser observado na Figura 69.

A cidade de Salvador-BA está realizando diversas obras de requalificação do espaço urbano, como a inauguração do novo sistema de transporte baseado em pistas exclusivas e ônibus articulados, conhecido com BRT (*bus rapid transit*), e a requalificação da orla, com canteiros e ciclovias. No entanto, não há qualquer previsão para o uso de técnicas de Infraestrutura Verde (FMLF, 2024). Pelo contrário, a prefeitura tamponou parte do rio Camarajipe para utilizá-lo como pista exclusiva do sistema viário e construiu diversos viadutos para eliminar a necessidade de sinais de trânsito, resultando no aumento da impermeabilidade da região.

Figura 69 - Assuntos contemplados nas legislações do IPTU Verde dos Municípios levantados, expressos em valores percentuais.



Fonte: O autor, com base nas legislações que contemplam o IPTU verde, listadas na Tabela 13.

Tabela 12 - Listagem de municípios que possuem legislações referentes ao IPTU Verde.

Cidade/ Técnica	ES	TV	JC	EA	AP	CAP	SR	Legislação
Araguaína - TO	x	x			x			Lei complementar nº 895/18
Araraquara - SP	x			x	x			Lei Complementar nº 895/18.
Americana - SP				x				Lei nº 6.384/19
Barretos - SP	x	x		x	x			Projeto de lei comp. nº 22/2021
Balneário Camboriú - SC	x	x		x		x		Lei nº 4.303/19
Campos do Jordão - SP	x			x	x	x	x	Lei nº 3.934/18
Caruaru - PE	x	x		x	x	x	x	Lei complementar nº 62/18
Colatina - ES				x				Não encontrado
Cuiabá - MT	x			x	x	x	x	Lei municipal nº 515/22
Guarulhos - SP	x	x		x	x	x	x	Lei nº 6.793/10
Imperatriz - MA				x				Lei complementar nº 242/21
Ipatinga - MG	x			x	x		x	Lei nº 2646/09
Lauro de Freitas - BA	x	x		x		x	x	Lei municipal nº 1.961/21
Limeira - SP	x	x		x	x	x	x	Lei ordinária nº 6.906/23
Louveira - SP	x	x		x	x	x	x	Lei nº 2.887/23
Maringá - PR	x					x	x	Lei nº 9860/14.
Petrolina - PE								Em elaboração
Porto Alegre - RS	x	x				x		Em elaboração
Rio de Janeiro - RJ	x	x			x	x	x	Decreto Nº 35745/12
Salvador - BA	x	x	x	x	x	x	x	Decreto nº 36.288/22
São Carlos - SP	x	x		x	x	x	x	Decreto nº 368/20
São Bernardo do Campo - SP				x				Lei nº 6594/17
São Leopoldo - RS	x					x		Lei nº 9.823/23
São Vicente - SP	x				x	x	x	Lei complementar nº 634/10
Seropédica - RJ	x			x		x	x	Lei 526/14
Sorriso - MT	x							Lei n 3.196/21
Taubaté - SP	x	x			x	x	x	Lei nº 5241/16
Tietê - SP				x				Lei nº 3.730/19
Venâncio Aires - RS	x			x		x		Lei nº 6.873/21
Vitória da Conquista - BA	x					x	x	Lei nº 2.157/17
Total (%)	22	12	1	19	14	18	15	

Legenda: ES-energia solar; TV-telhado verde; JD – jardim de chuva; EA – existência de árvore; AP – área permeável; CAP – captação de água da chuva; SR – sistema de reuso.

Fonte: o autor, 2023.

3.4.1.5 – Barreiras cognitivas

Preconceito, desconhecimento, medo e percepções equivocadas são fatores que frequentemente desencorajam proprietários de terras, gestores de recursos hídricos e legisladores a adotar infraestruturas verdes (DHAKAL; CHEVALIER, 2016).

Observam-se duas questões importantes relacionadas às barreiras cognitivas. A primeira é a dúvida, por parte dos especialistas em drenagem, sobre a efetividade das técnicas de infraestrutura verde. A segunda está ligada ao costume da população de utilizar o sistema de drenagem urbana das cidades sem realizar pagamentos diretos por seu uso. No caso da instalação de um jardim de chuva em uma residência, com o objetivo de contribuir para a melhoria da drenagem urbana coletiva, o usuário passa a arcar com custos relacionados à instalação e manutenção dessa estrutura.

Quando se trata da barreira de conhecimento, Brown e Farrelly (2009) consideram que a questão ocorre, tanto na Austrália, quanto nos EUA. Dessa forma, uma das sugestões apresentada pelos autores é a implementação de estruturas piloto nas comunidades, para que a população possa entender melhor o funcionamento, os benefícios e, principalmente, os custos, um aspecto amplamente citado pela pesquisa.

A cidade de Nova York, nos EUA, utilizou essa técnica para divulgação do jardim de chuva, implantando-os em áreas públicas e bairros da cidade, para que a população conhecesse e criasse empatia com o projeto. Como resultado, em 10 anos de implementado, a cidade já conta com mais de 2.500 jardins de chuva (STRINGER; LANDA; DINKINS, 2019).

A barreira do conhecimento sobre a técnica/dispositivo só pode ser superada com ampla disseminação de informação. Essa tem sido a estratégia adotada pelas cidades americanas, assim como pela Agência Ambiental Americana (EPA), que já lançou diversos manuais, informativos, livretos e parcerias.

Quanto aos receios sobre os gastos que a população pode vir a ter, essas são questões bastante discutidas principalmente na América do Norte e Europa, incluindo valores para implementação e manutenção, que, no caso dos

jardins de chuva, são semelhantes aos de um jardim tradicional (MELO et al., 2014; HAN et al., 2021; MENG; HSU, 2019).

Em Praga, foi observado que parte da população estaria disposta a contribuir financeiramente para a implantação e manutenção das estruturas de SbN, sendo esses indivíduos, em sua maioria, aqueles que demonstravam preocupação com as mudanças climáticas, especialmente em relação às ondas de calor (BADURA et al., 2021). Situação semelhante foi observada na China, onde a maioria da população, segundo o estudo, aceitaria custear um pequeno valor mensal para sua manutenção (DING et al., 2019).

As pessoas com maior consciência ambiental ou com práticas mais ligadas à natureza, como jardinagem, são mais adeptas a aceitarem contribuir financeiramente pela manutenção da infraestrutura verde (SHIN; MCCANN, 2018).

3.4.2 Pesquisa bibliográfica sobre programas governamentais e legislações aplicadas

3.4.2.1 Legislações

Quanto às legislações que especifiquem Infraestruturas Verdes e contemplem as cidades de Salvador e Lauro de Freitas, na Bahia, e Rio de Janeiro e São Paulo, nos respectivos estados homônimos, foram encontrados 9 instrumentos normativos, conforme Tabela 14.

Na análise das legislações brasileiras que definem ou preveem a elaboração de projetos com o uso de infraestruturas verdes, foi observado que, tanto os telhados verdes, quanto a captação da água da chuva foram citados em 4 instrumentos legais. Outra estrutura, que é o piso drenante, foi contemplado em outras 3 legislações.

Uma das primeiras legislações aprovadas foi promulgada em 2004, na cidade do Rio de Janeiro-RJ. Esta contemplava a obrigatoriedade da adoção de reservatórios que permitissem o retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem, além do reuso da água para fins não potáveis (PCRJ, 2004).

Esta legislação contemplaria não somente habitações multifamiliares como também grandes estabelecimentos. Porém, após 2 (dois) anos de sua promulgação, foi emitido novo decreto isentando as habitações multifamiliares que se enquadravam como moradias populares de adotarem essas medidas (PCRJ, 2006). Em 2010, outro decreto foi promulgado sobre o mesmo tema, o qual tornava os empreendimentos cuja rede drenagem prosseguisse até o deságue final em lagos ou no oceano isentos da instalação de reservatórios, ou seja, isentando praticamente todos os empreendimentos do município (PCRJ, 2010).

Foi encontrada mais de uma lei que propõe a obrigatoriedade da implementação de reservatórios ou outras estruturas para novos empreendimentos com área superior a 500 m². Em cidades em franco crescimento, esse tipo de legislação pode ter um impacto significativo, mas em regiões já estabelecidas, como a Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro-RJ, esse tipo de regulamentação não surte muito efeito, uma vez que grande parte das construções são antigas edificações multifamiliares. Neste caso, a implementação do decreto da cidade de 2004, que obriga a adequação de empreendimentos já instalados, teria um impacto mais substancial. A principal dificuldade das legislações sobre uso do espaço reside justamente na diversidade de situações que uma mesma cidade apresenta.

De maneira análoga, o estado e a cidade de São Paulo-SP vêm desenvolvendo legislações que estimulam a retenção de água de chuva em imóveis particulares. A lei 12.526/2007 estipula a obrigatoriedade de implantação de estruturas para captação e retenção de águas pluviais em empreendimentos com áreas impermeáveis superiores a 500 m² (ALESP, 2007). De acordo com essa lei, todos os empreendimentos, já implantados ou a serem construídos, deveriam se adequar à legislação. Além disso, estacionamentos e construções, com áreas impermeáveis superiores a 500 m², teriam um prazo de 90 dias para instalar piso drenante ou reservar, no mínimo, 30% de sua área como área naturalmente permeável.

Outra legislação mais antiga da cidade de São Paulo-SP, de 1994, já havia sido publicada, determinando o uso de pisos drenantes em passeios públicos, estacionamentos descobertos, ruas de pouco movimento de veículos

e vias de circulação de pedestres, além de áreas de lazer, praças e parques (PSP, 1994).

Uma maneira de estimular a instalação de sistemas de captação de água de chuva pode ser a promulgação de legislações de impedimento de uso de água tratada para atividade menos nobres, como a lavagem de pisos e calçadas, irrigação de jardins e descargas sanitárias.

A legislação municipal de São Paulo nº16.172 de 2015 proibiu a lavagem de calçadas com água tratada ou potável fornecida pela empresa de saneamento da cidade e aplica multa de R\$ 250 para a infração (PSP, 2015). Esta medida foi adotada em caráter de urgência, durante acentuado período seco em 2014, que levou a um rígido programa de racionamento de água. No entanto, atualmente, a medida possui caráter de incentivo à implantação de estruturas drenantes, uma vez que permite a lavagem de calçadas somente com água de reuso ou de captação de água de chuva.

No estudo de Dhakal e Chevalier (2017), dentre as recomendações para a construção dos instrumentos normativos das cidades, a primeira ação indicada é o levantamento das legislações e códigos locais, de forma a detectar incompatibilidades e incongruências entre elas, que possam impedir a sua aplicabilidade. Alguns parâmetros apontados neste estudo não necessariamente são aplicados na situação brasileira, como altura mínima do meio fio e obrigatoriedade de elevação de calçadas nas curvas.

Porém, entre as propostas de melhoria apresentadas, vale ressaltar a sugestão de estabelecimento de critérios de qualidade da água do escoamento superficial originado do lote para a drenagem pública, em vez de considerar apenas a vazão da água do escoamento superficial. Porém, eles demonstram claramente a necessidade de as cidades direcionarem suas legislações para a aplicação das Infraestruturas Verdes, pois, mesmo quando a responsabilidade é compartilhada ou exclusiva de outros entes federativos, o judiciário, em cortes supremas, costuma dar ganho de causa para os municípios quando o assunto é uso do solo.

No ano de 2024, duas importantes legislações foram editadas demonstrando uma tendência de divulgação recente sobre a técnica, o Decreto Federal nº 12.041 de 5 de junho de 2024 e a Lei Municipal nº 8.465 de 2 de julho de 2024, da cidade do Rio de Janeiro. O decreto instituiu o programa

“Cidades Verdes Resilientes”, que visa adotar medidas para adaptação das cidades às mudanças climáticas, com estímulo a técnicas sustentáveis e valorização de serviços ecossistêmicos. Já a legislação municipal dispõe sobre a adoção de mecanismos sustentáveis de gestão de águas pluviais, como jardins de chuva, telhados verdes e trincheiras de infiltração, para fins de controle de enchentes e alagamentos, indicando, inclusive, na norma aplicação para o conceito de cidade esponja.

Mesmo assim, ainda se observa a necessidade de aperfeiçoamento e compatibilização não somente das legislações brasileiras em todos os âmbitos federativos, quanto à exigência de previsão das Infraestruturas Verdes, mas também no que se refere às normas técnicas, que continuam a direcionar as obras civis no país para o uso da Infraestrutura Cinza.

Outra forma de incentivo é estabelecer como premissa, na contratação de projetos e obras públicas ou financiadas pelo poder público, a exigência de uso de infraestrutura verde.

Tabela 13 - Listagem de legislações que contemplam as Soluções Baseadas na Natureza, nas cidades levantadas.

Identificação	Tipo de estrutura	Especificação técnica	Detalhes da norma
Lei 1.961/21 da Cidade de Lauro de Freitas-BA	Telhado verde e captação da água da chuva	TV em mais de 25% da cobertura; aproveitar mais de 90% das águas pluviais da cobertura.	Descontos progressivos para ações sustentáveis no imóvel, até 5% de desconto no IPTU
Decreto 36.288/22 da Cidade de Salvador - BA	Piso permeável, telhado verde e valeta de infiltração de água da chuva	Piso com permeabilidade maior de 80%, em mais de 60% do passeio. TV em mais de 50% da edificação	Descontos progressivo no IPTU até 10%.
Lei nº 9069/16 da Cidade de Salvador - BA	Jardim de chuva	Nenhuma	Avaliar alternativas para drenagem, dentre elas o jardim de chuva.
Lei nº 6.349 / 2012 da Cidade do Rio de Janeiro	Telhado verde	Nenhuma	Autoriza o uso de telhados verdes em repartições públicas
Decreto nº 35.745 / 2012 da Cidade do Rio de Janeiro	Telhado verde e captação da água da chuva	Nenhuma	Promoção da gestão de água sustentável, com captação e reuso de água, telhado verde e outros. Selo verde.
Lei nº 4.393 / 2004	Captação,	Nenhuma	Construções para

Identificação	Tipo de estrutura	Especificação técnica	Detalhes da norma
do Estado do Rio de Janeiro	armazenamento e uso da água da chuva		mais de 50 famílias, e comerciais com mais de 50 m ² .
Lei nº 17.578 / 2021 da Cidade de São Paulo	Aumento de permeabilidade do solo, com jardins e pisos drenantes	Remoção de camada asfáltica e instalação de canteiros no nível das calçadas ou pavimento asfáltico. Exceção quando necessário, poderá ter até 60 cm de altura.	
Lei nº 12.526 / 2007 do Estado de São Paulo	Reservatório, área permeável ou piso drenante em estacionamentos	Cálculo de reservatório $V = 0,15 \times A_i \times IP \times t$; e descarga deve infiltrar no solo, ser reaproveitada ou enviada para o sistema de drenagem após 1 h de ocorrência a chuva.	Lotes com área impermeabilizada superior a 500 m ²

Legenda: TV=Telhado Verde; V=volume do reservatório; Ai=área impermeabilizada; IP=índice pluviométrico; t= tempo de duração da chuva.

Fonte: O autor, com base em pesquisas na internet, em 2024.

3.5 CONCLUSÃO DA PESQUISA SOBRE OS ENTRAVES PARA A IMPLANTAÇÃO DE JARDINS DE CHUVA NO BRASIL

Pelo observado nas entrevistas realizadas, na avaliação das legislações existentes e nos programas de governo, os problemas enfrentados pelo Brasil para a implementação e divulgação das técnicas de Soluções Baseadas na Natureza (SbN) podem ser percebidos também em outros países onde o tema já é tratado há mais tempo. Isto é observado inclusive em países como os EUA, que possuem vasta experiência na elaboração e implementação da técnica, tanto em lotes particulares, como em áreas públicas.

Apesar do tema de cidades sustentáveis ter sido tratado de forma crescente tanto nos meios de comunicação quanto em políticas e programas de governo, pode-se constatar que a terminologia relacionada a SbN utilizada neste estudo ainda parece estar bastante restrita ao meio acadêmico. Ainda que seja considerado o baixo número de participantes dos diversos segmentos que responderam ao questionário, os resultados sugerem que mesmo os

profissionais da área ambiental possuem reduzido conhecimento sobre a maioria das técnicas de Infraestrutura Verde, principalmente em relação à técnica do jardim de chuva, tema central desta pesquisa.

De qualquer forma, mais estudos são necessários para se aprofundar quanto aos motivos da não adoção das técnicas de Infraestrutura Verde no Brasil, apesar de ser claro que ela está, em parte, associada à escassez de comunicação sobre o tema, seja para a sociedade civil, seja nos centros de ensino, e também na formação básica dos novos profissionais. A elaboração de manuais práticos pode, portanto, contribuir para a disseminação da técnica.

Quanto às legislações, pode ser observado que há necessidade de normas mais específicas. Como demonstrado na pesquisa, algumas cidades vêm adotando incentivos, como o IPTU verde, porém mais voltados para a implantação de energia renovável, além de poucos quanto à reservação de água. Porém, há ainda falta de uma comprovação quanto aos impactos gerados pela instituição desses instrumentos legislativos nas cidades, algo que deve ser pesquisado em estudos futuros.

Os códigos de obra e também os projetos realizados na cidade de Salvador não contemplam a aplicação de SbN em suas edições mais recentes. Já a cidade do Rio de Janeiro, com a promulgação de nova legislação sobre o tema no meio do ano de 2024, dá início à preocupação quanto ao tema. No entanto, é necessário acompanhar os novos projetos propostos para cidade para verificar se estarão, de fato, sendo priorizados.

Ao avaliar diferentes países, constata-se que, apesar das diferenças existentes entre as legislações, a fragmentação da gestão é algo que aparentemente ocorre tanto nas cidades brasileiras quanto em outras, como nos Estados Unidos e na Europa.

Desta forma, para transpor as principais barreiras avaliadas neste trabalho, recomenda-se que:

1. Realize-se uma análise conjunta das legislações, das normas técnicas e dos padrões construtivos de uma cidade, a fim de identificar as incongruências existentes entre elas, que possam servir de obstáculo à elaboração de projetos e planos de

requalificação urbana com o uso de SbN, e propor suas alterações;

2. Sejam implementados projetos que possam servir como exemplos práticos a serem replicados em outras áreas, inclusive para dirimir as dúvidas quanto à funcionalidade e aos custos das estruturas;
3. Sejam elaborados manuais técnicos que sirvam como referência para gestores e técnicos na implantação de projetos de Infraestrutura Verde em suas respectivas localidades;
4. Sejam instituídas parcerias entre universidades e órgãos gestores, de forma a estimular e divulgar as técnicas de SbN para atuais e futuros profissionais a quem compete sugerir, cobrar e implementar na prática os planos de requalificação urbana, funcionando ainda como uma espécie de memória do órgão público, que transcende governos.

4 – CONCLUSÃO GERAL

Existe um grande potencial para a implementação de jardins de chuva como parte das infraestruturas de drenagem urbana e adaptação às mudanças climáticas nas cidades brasileiras. Muitos estudos sobre o tema são realizados, especialmente em outros países. Observa-se que, nas localidades onde as infraestruturas verdes são implementadas há mais tempo, atualmente, há um esforço para adequar os custos de construção e manutenção dos jardins. Além disso, avaliam o tempo de vida útil de um jardim de chuva após implantação e o impacto do tempo na sua eficiência.

Os experimentos práticos demonstram a eficiência de um jardim com padrões construtivos básicos, adequados para implementação em lotes particulares, com baixo custo e alta efetividade.

Apesar das dificuldades encontradas no monitoramento do jardim de chuva, as experimentações metodológicas evidenciaram a grande diversidade de abordagens utilizadas nos estudos sobre o tema, o que pode contribuir para futuras pesquisas na área. Destaca-se ainda que as metodologias foram aplicadas a um jardim que capta água de telhados, situado em uma área densamente ocupada.

A técnica comprovou ser eficiente não apenas quando o jardim de chuva é construído com uma proporção média de 10% da área de captação dos telhados, mas também quando essa proporção é reduzida para 6,3% sem apresentar extravasamentos, de acordo com a composição do jardim testado e no local instalado.

O jardim de chuva também se mostrou um instrumento eficaz na remoção de poluentes da poluição difusa, devendo integrar a política de despoluição de rios urbanos e lagoas.

Em relação aos entraves para a adoção da técnica no Brasil, o levantamento realizado por meio de questionário, embora tenha contado com uma amostra limitada de usuários, somado à análise das legislações e à pesquisa bibliográfica, sugere que há uma ausência de políticas e programas de divulgação sobre Infraestruturas Verdes, especialmente no caso dos Jardins

de Chuva analisados nesta tese. Neste contexto, a elaboração de legislações específicas, a inclusão dos conceitos de infraestrutura verde nas leis urbanísticas das cidades, além de manuais e programas de conscientização e divulgação sobre seus usos e potenciais, parecem ser fundamentais para promover a mudança na percepção da sociedade sobre o uso das Infraestruturas Verdes na melhoria da qualidade de vida e na adaptação às mudanças climáticas nas cidades.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 9050 - Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. 4 ed. 147 p. Rio de Janeiro – RJ. 2020.

ABNT - **NBR 6502 - Rochas e Solos**. 1 ed. 18 p. Rio de Janeiro – RJ. 1995.

ACES - ALABAMA COOPERATIVE EXTENSION SYSTEM. **Etapas 4: determinar o tamanho e a profundidade do jardim de chuva**. Disponível em: <<https://www.aces.edu/blog/topics/fish-water/step-4-determine-the-size-and-depth-of-the-rain-garden/#:~:text=For%20quick%20and%20simple%20calculations%2C%20use%20the%2010%2F20,.10%20%3D%2036%20ft.%202%20of%20rain%20garden>>. Acesso em: 10 mar. 2024.

AL-AMERI, M.; HATT, B.; LE COUSTUMER, S.; FLETCHER, T.; PAYNE, E.; DELETIC, A. Accumulation of heavy metals in stormwater bioretention media: A field study of temporal and spatial variation. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 567, p. 721–731, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.03.027>>

ALERTA RIO. **Dados pluviométricos do Município do Rio de Janeiro**. 2024. Disponível em: <<http://www.sistema-alerta-rio.com.br/dados-meteorologicos/download/dados-pluviometricos/>>.

ALMAAITAH, T.; APPLEBY, M.; ROSENBLAT, H.; DRAKE, J.; & JOKSIMOVIC, D. **The potential of Blue-Green infrastructure as a climate change adaptation strategy: A systematic literature review**. Blue-Green Systems, 3 (1), p. 223–248. <https://doi.org/10.2166/bgs.2021.016>. 2021.

ALMEIDA, D. **Mais de 626 mil pessoas ainda estão fora de casa no Rio Grande do Sul**. 2024. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-05/mais-de-626-mil-pessoas-ainda-estao-fora-de-casa-no-rio-grande-do-sul>>. Acesso em: 2 jun. 2024.

AL-SUDANI, H. I. Z. Temperature – Potential Evapotranspiration Relationship in Iraq Using Thornthwaite Method. **Journal of University of Babylon for Engineering Sciences**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 16–25, 2019.

ALVES, L. D.; DE SOUZA, C. M.; DE ALMEIDA, J. C. A.; BASTOS, G. P.; DOMINGOS, R. R.; DA SILVA, G. N.; BILA, D. M.; OHNUMA JR, A. A. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA DO FENÔMENO FIRST FLUSH E DE VOLUMES ARMAZENADOS EM RESERVATÓRIOS DE SISTEMAS DE ÁGUAS PLUVIAIS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO-RJ. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, [s. l.], p. 193–204, 2021.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington, D.C.

AN, K. J.; LAM, Y. F.; HAO, S.; MORAKINYO, T. E.; FURUMAI, H. Multi-purpose rainwater harvesting for water resource recovery and the cooling effect. **Water Research**, [s. l.], v. 86, p. 116–121, 2015.

ANDERSON, M. J.; KURTYCZ, D. F. I.; CLINE, J. R. Baptisia poisoning: A new and toxic look-alike in the neighborhood. **Journal of Emergency Medicine**, [s. l.], v. 48, n. 1, p. 39–42, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jemermed.2014.09.037>>

APOLLARO, C.; ALVIM, A. Planejamento urbano para a adaptação de cidades frente à mudança climática: uma análise sobre o Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo. **Revista Thésis**, [s. l.], v. 2, n. 4, p. 118–137, 2017.

ARAUJO, P.; HAMBURGER, D.; JESUS, T.; BENASSI, R.; CICCIO, V. Relação entre a qualidade da água e o uso do solo em microbacias do reservatório Billings, na Região Metropolitana de São Paulo - SP. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 3–3, 2018.

ASSEF, A. P. D. C.; ARAUJO, C. F. M. De. **Superbactéria é encontrada em rio que deságua na Praia do Flamengo (RJ)**. 2014. Disponível em:

<<https://portal.fiocruz.br/noticia/superbacteria-e-encontrada-em-rio-que-desagua-na-praia-do-flamengo-rj>>. Acesso em: 25 dez. 2023.

AZEVEDO, F. S. **BIORRETENÇÃO: TECNOLOGIA ALTERNATIVA PARA MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS APLICADA A JOÃO PESSOA, PB**. 2019. Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental - Universidade federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2019.

BADURA, T.; KRKOŠKA LORENCOVÁ, E.; FERRINI, S.; VAČKÁŘOVÁ, D. Public support for urban climate adaptation policy through nature-based solutions in Prague. **Landscape and Urban Planning**, [s. l.], n. 215, p. 15, 2021.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BASTOS. Rua Nelson Mandela, Botafogo. 2013. Disponível em: <<https://vejario.abril.com.br/coluna/as-ruas-do-rio/rua-nelson-mandela-botafogo>>. Acesso em: 20 out. 2024.

BARRETO, C. E. A. G.; WENDLAND, E.; MARCUZZO, F. F. N. ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO A PARTIR DE VARIAÇÃO DE NÍVEL ESTÁTICO DE AQUÍFERO. **Eng. Agríc.** 29(1), 52–61. 2009.

BECKER, N.; CONEGERO, M.; PINHEIRO, I. Qualidade da água do escoamento superficial percolado em pavimento de concreto permeável dosado por diferentes métodos. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 2–0, 2021.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2008.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. Em: **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

BIAN, B.; CHENG, X. J.; LI, L. Investigation of urban water quality using simulated rainfall in a medium size city of China. **Environmental Monitoring and Assessment**, [s. l.], v. 183, n. 1–4, p. 217–229, 2011.

BLUE-GREEN TEAM. **Rotterdam's visionary flood and water management infrastructure**. 2016. Disponível em: <<https://blogs.nottingham.ac.uk/blue-green-cities/2016/04/11/the-journey-towards-a-flood-proof-rotterdam/>>. Acesso em: 20 dez. 2023.

BORTOLINI, L.; ZANIN, G. Hydrological behaviour of rain gardens and plant suitability: A study in the Veneto plain (north-eastern Italy) conditions. **Urban Forestry and Urban Greening**, [s. l.], v. 34, n. August 2017, p. 121–133, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.06.007>>

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário oficial República Federativa do Brasil, Poder executivo, Brasília, DF.

_____. Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário oficial República Federativa do Brasil, Poder executivo, Brasília, DF.

_____. Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário oficial República Federativa do Brasil, Poder executivo, Brasília, DF.

_____. Lei nº 13.501 de 30 de outubro de 2017. Incluir o aproveitamento de águas pluviais como um dos objetivos da Lei nº 9.433/1997. Diário oficial República Federativa do Brasil, Poder executivo, Brasília, DF.

_____. Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Diário oficial República Federativa do Brasil, Poder executivo, Brasília, DF.

BRIGIDO, V.; JUSTO, A. M. **Tutorial para uso do software de análise textual IRAMUTEQ Universidade Federal de Santa Catarina - Laboratório de Psicologia Social da Comunicação e Cognição - Laços**. Santa Catarina. UFSC. P.1-18. 2013. <http://www.iramuteq.org/documentation/fichiers/tutoriel-en-portugais>.

BROEKHUIZEN, I.; MUTHANNA, T. M.; LEONHARDT, G.; VIKLANDER, M. Urban drainage models for green areas: Structural differences and their effects

on simulated runoff. **Journal of Hydrology X**, [s. l.], v. 5, n. June, p. 100044, 2019.

BROWN, R. A.; HUNT, W. F. Impacts of Media Depth on Effluent Water Quality and Hydrologic Performance of Undersized Bioretention Cells. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, [s. l.], v. 137, n. 3, p. 132–143, 2011.

BROWN, R. R.; FARRELLY, M. A. Challenges ahead: Social and institutional factors influencing sustainable urban stormwater management in Australia. **Water Science and Technology**, [s. l.], v. 59, n. 4, p. 653–660, 2009.

BUZZARD, V.; GIL-LOAIZA, J.; GRAF GRACHET, N.; TALKINGTON, H.; YOUNGERMAN, C.; TFAILY, M. M.; MEREDITH, L. K. Green infrastructure influences soil health: Biological divergence one year after installation. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 801, 2021.

CANÇADO, V.; NASCIMENTO, N. D. O.; CABRAL, J. R. Cobrança pela Drenagem Urbana de Águas Pluviais: Bases Conceituais e Princípios Microeconômicos. **RBRH-Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 15–25, 2006.

CARSTENS, D.; AMER, R. Spatio-temporal analysis of urban changes and surface water quality. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 569, n. August 2018, p. 720–734, 2019.

CENTRO ESTUDIOS AMBIENTALES. **LA INFRAESTRUCTURA VERDE URBANA DE VITORIA-GASTEIZ**. Vitoria-Gasteiz. 2014. Disponível em: <www.vitoria-gasteiz.org/cea>.

CHAFFIN, B. C.; SHUSTER, W. D.; GARMESTANI, A. S.; FURIO, B.; ALBRO, S. L.; GARDINER, M.; SPRING, M. L.; GREEN, O. O. A tale of two rain gardens: Barriers and bridges to adaptive management of urban stormwater in Cleveland, Ohio. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 183, p. 431–441, 2016.

CHAN, F. K. S.; GRIFFITHS, J. A.; HIGGITT, D.; XU, S.; ZHU, F.; TANG, Y. T.; XU, Y.; THORNE, C. R. “Sponge City” in China—A breakthrough of planning and flood risk management in the urban context. **Land Use Policy**, [s. l.], v. 76, n. March, p. 772–778, 2018.

CHANDRASENA, G. I.; DELETIC, A.; MCCARTHY, D. T. Biofiltration for stormwater harvesting: Comparison of *Campylobacter* spp. and *Escherichia coli* removal under normal and challenging operational conditions. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 537, p. 248–259, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.03.044>>

CHARALAMPOPOULOS, I.; MATZARAKIS, A. A numerical model-based method for estimating wind speed regime in outdoor and semi-outdoor sites in urban environment. Em: PROCEEDINGS OF THE 13TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, ATHENS, GREECE 2013, **Anais...** [s.l.: s.n.] Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/268210544>>

CHURCH, S. P. Exploring Green Streets and rain gardens as instances of small scale nature and environmental learning tools. **Landscape and Urban Planning**, [s. l.], v. 134, p. 229–240, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.021>>

COELHO, L.; OHNUMA JR., A.; FONSECA, P. Taxas de drenagem a partir de cenários com técnica compensatória de telhado verde com uso do modelo SWMM. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 24– 0, 2022.

COLEMAN, S.; HURLEY, S.; RIZZO, D.; KOLIBA, C.; ZIA, A. From the household to watershed: A cross-scale analysis of residential intention to adopt green stormwater infrastructure. **Landscape and Urban Planning**, [s. l.], v. 180, n. September, p. 195–206, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.09.005>>

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 430 de 13 maio 2011. Brasília, DF.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 357/05 de 17 março de 2005. Brasília, DF.

COPPE. **Projeto Iguaçu - Resumo Técnico**. Rio de Janeiro. 352 p. 2013.

COSTA, J. B. **Caracterização e Constituição do Solo**. 4. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1991.

COSTA, M.; TSUJI, T.; KOIDE, S. First flush na bacia urbana do Riacho Fundo - DF. **Revista Tecnologia e Sociedade**, [s. l.], v. 19, n. 56, p. 1–11, 2023. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rts>>

CUI, L.; RUPPRECHT, C. D. D.; SHIBATA, S. Climate-responsive green-space design inspired by traditional gardens: Microclimate and human thermal comfort of Japanese gardens. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 13, n. 5, p. 1–23, 2021.

DALL'ARA, E.; MAINO, E.; GATTA, G.; TORREGGIANI, D.; TASSINARI, P. Green Mobility Infrastructures. A landscape approach for roundabouts' gardens applied to an Italian case study. **Urban Forestry and Urban Greening**, [s. l.], v. 37, n. July 2017, p. 109–125, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.03.011>>

DER. DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL RESOURCES **Low-Impact Development Design Strategies An Integrated Design Approach Low-Impact Development: An Integrated Design Approach**. Prince George's Country, MD: Department of Environment Resource, 1999.

_____. **Bioretention Manual, Prince George's County, Maryland**. Department of Environment Resource, 207 p. 2007.

DHAKAL, K. P.; CHEVALIER, L. R. Urban Stormwater Governance: The Need for a Paradigm Shift. **Environmental Management**, [s. l.], v. 57, n. 5, p. 1112–1124, 2016.

_____. Managing urban stormwater for urban sustainability: Barriers and policy solutions for green infrastructure application. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 203, p. 171–181, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.065>>

DING, L.; REN, X.; GU, R.; CHE, Y. Implementation of the “sponge city” development plan in China: An evaluation of public willingness to pay for the life-cycle maintenance of its facilities. **Cities**, [s. l.], v. 93, n. 500, p. 13–30, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.04.007>>

DUDRICK, R.; HOFFMAN, M.; ANTOINE, J.; AUSTIN, K.; BEDOYA, L.; CLARK, S.; DEAN, H.; MEDINA, A.; GOTSCH, S. G. Do plants matter?

Determining what drives variation in urban rain garden performance. **Ecológica Engineering**, [s. l.], v. 201, 2024.

DURIGON, M.; OLIVEIRA, M. A.; WOLFF, D. B.; PAULA, A.; CASSOL, V.; FERREIRA DA SILVA, J. A urbanização compromete a qualidade da água da bacia hidrográfica dos rios Vacacaí e Vacacaí-mirim em Santa Maria, RS. **Ciência e Natura**, [s. l.], v. 37, n. 4, p. 64–73, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/105902/2179460X17395>>

EBRAHIMIAN, A.; WADZUK, B.; TRAVER, R. Evapotranspiration in green stormwater infrastructure systems. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 688, p. 797–810, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.256>>

ECOOAR. A rua mais bonita e arborizada do mundo, fica no Brasil. 2018. Disponível em: <<https://blog.ecooar.com/rua-mais-arborizada-do-mundo/>>. Acesso em: 20 set. 2024.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. In Embrapa (2nd ed., Vol. 132, Issue ISSN 1517-2627). Embrapa Solos. 2011.

_____. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 354 p. 2018.

EMERSON, C. H.; TRAVER, R. G. classificação and Sazonal Variation of Infiltration from Storm-Water Best Management Practices. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, [s. l.], v. 134, n. 5, p. 598–605, 2008.

EPA. **Green Infrastructure opportunities that arise during municipal operations. Office of Wetlands, Ocean and Watersheds National Estuary Program**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/green_infrastructure_roadshow.pdf%0Ahttps://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P100N075.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2011+Thru+2015&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n>.

_____. **Storm Water Management Model Reference Manual**. In L. Rossman & W. Huber (Eds.), EPA (Vols. 3-water quality). National Risk Management Laboratory. 2016.

FAJARDO-HERRERA, R. J.; VALDELAMAR-VILLEGAS, J. C.; MOUTHON BELLO, J. Un jardín de lluvia para la remoción de nitrógeno de la escorrentía en ciudades tropicales. **Revista de Ciencias Ambientales**, [s. l.], v. 53, n. 2, p. 132–146, 2019.

FARIA, M. T. da S.; PEREIRA, L. M. S.; DIAS, A. P.; GOMES, U. A. F.; MOURA, P. Panorama dos Planos Municipais de Saneamento Básico e Planos Diretores de Drenagem Urbana em municípios de pequeno porte de Minas Gerais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 185–193, 2022.

FIELDS, B.; THOMAS, J.; WAGNER, J. A. Living with Water in the Era of Climate Change: Lessons from the Lafitte Greenway in Post-Katrina New Orleans. **Journal of Planning Education and Research**, [s. l.], v. 37, n. 3, p. 309–321, 2017.

FLETCHER, T. D.; SHUSTER, W.; HUNT, W. F.; ASHLEY, R.; BUTLER, D.; ARTHUR, S.; TROWSDALE, S.; BARRAUD, S.; SEMADENI-DAVIES, A.; BERTRAND-KRAJEWSKI, J. L.; MIKKELSEN, P. S.; RIVARD, G.; UHL, M.; DAGENAIS, D.; VIKLANDER, M. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**, [s. l.], v. 12, n. 7, p. 525–542, 2015.

FLYNN, K. M.; TRAVER, R. G. Green infrastructure life cycle assessment: A bio-infiltration case study. **Ecological Engineering**, [s. l.], v. 55, p. 9–22, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.01.004>>

FOWDAR, H.; PAYNE, E.; DELETIC, A.; ZHANG, K.; MCCARTHY, D. Advancing the Sponge City Agenda: Evaluation of 22 plant species across a broad range of life forms for stormwater management. **Ecological Engineering**, [s. l.], v. 175, n. December 2021, p. 11, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106501>>

FRANÇA, L.; BRESSANE, A. **Determinação da infiltração e velocidade de infiltração**. São Paulo, SP. 2013. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/306208703>>.

FUNDAÇÃO MÁRIO LEAL FERREIRA - FMLF. **Requalificação da orla**. 2024. Disponível em: <<https://fmlf.salvador.ba.gov.br/requalificacao-da-orla/>>. Acesso em: 27 maio. 2024.

G1 RS. **Nível do Guaíba supera o da cheia histórica de 1941 pela segunda vez; lago subiu 14 cm em 4 horas**. 2024. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2024/05/13/temporais-no-rs-nivel-do-guaiba-supera-a-da-cheia-historica-de-1941-duas-vezes-em-10-dias.ghtml>>. Acesso em: 2 jun. 2024.

GAO, J.; LI, J.; LI, Y.; XIA, J.; LV, P. A Distribution Optimization Method of Typical LID Facilities for Sponge City Construction. **Ecohydrology and Hydrobiology**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 13–22, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2020.09.003>>

GÉHÉNIAU, N.; FUAMBA, M.; I; MAHAUT, V.; GENDRON, M. R.; DUGUÉ, M. Monitoring of a Rain Garden in Cold Climate: Case Study of a Parking Lot near Montréal. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, [s. l.], v. 141, n. 6, p. 04014073, 2015.

GIRO, F. **Análise da viabilidade de um sistema domiciliar de aproveitamento de águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro**. 2020. UERJ, [s. l.], 2020.

GUASSELLI, F. C.; CASARIN, V. LANDSCAPE PREFERENCE OF URBAN RIVERBANKS: A REVIEW. **Mix Sustentável**, [s. l.], v. 8, n. 4, p. 141–147, 2022.

GUO, C.; LI, J.; LI, H.; ZHANG, B.; MA, M.; LI, F. Seven-year running effect evaluation and fate analysis of rain gardens in Xi'an, Northwest China. **Water (Switzerland)**, [s. l.], v. 10, n. 7, 2018.

GUO, J. C. Y.; LUU, T. M. Operation of Cap Orifice in a Rain Garden. **Journal of Hydrologic Engineering**, [s. l.], v. 20, n. 10, p. 06015002, 2015.

GUO, X.; GUO, Q.; ZHOU, Z.; DU, P.; ZHAO, D. Degrees of hydrologic restoration by low impact development practices under different runoff volume capture goals. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 578, n. August, p. 124069, 2019.

HAN, R.; LI, J.; LI, Y.; XIA, J.; GAO, X. Comprehensive benefits of different application scales of sponge facilities in urban built areas of northwest China. **Ecohydrology and Hydrobiology**, [s. l.], v. 21, n. 3, p. 516–528, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2021.08.008>>

HASHEMI, M. S. G. Z.; TAJRISHY, M.; JALILVAND, E. The Impact of Pavement Permeability on Time of Concentration in a Small Urban Watershed with a Semi-Arid Climate. **Water Resources Management**, [s. l.], v. 34, n. 9, p. 2969–2988, 2020.

HASHIM, T. M.; AL-MULALI, M. Z.; AL-KHAFAJI, F. F.; ALWASH, A. A. A.; ALI, Y. A. An experimental comparison between different types of surface patterns of permeable interlocking concrete pavement for roadway subsurface drainage. **Case Studies in Construction Materials**, [s. l.], v. 17, p. 1–30, 2022.

HEIDARI, B.; SCHMIDT, A. R.; MINSKER, B. Cost/benefit assessment of green infrastructure: Spatial scale effects on uncertainty and sensitivity. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 302, n. PA, p. 114009, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114009>>

HER, Y.; JEONG, J.; ARNOLD, J.; GOSSELINK, L.; GLICK, R.; JABER, F. A new framework for modeling decentralized low impact developments using Soil and Water Assessment Tool. **Environmental Modelling and Software**, [s. l.], v. 96, p. 305–322, 2017.

HERZOG, C. P.; ROZADO, C. A. **Diálogo setorial UE-Brasil sobre soluções baseadas na natureza**. Editora da União Europeia, Bruxelas. 129 p. 2019.

HONG, J.; GERONIMO, F. K.; CHOI, H.; KIM, L. H. Impacts of nonpoint source pollutants on microbial community in rain gardens. **Chemosphere**, [s. l.], v. 209, p. 20–27, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.062>>

HOOVER, F. A.; PRICE, J. I.; HOPTON, M. E. Examining the effects of green infrastructure on residential sales prices in Omaha, Nebraska. **Urban Forestry**

and Urban Greening, [s. l.], v. 54, n. October 2019, p. 126778, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126778>>

HUA, P.; YANG, W.; QI, X.; JIANG, S.; XIE, J.; GU, X.; LI, H.; ZHANG, J.; KREBS, P. Evaluating the effect of urban flooding reduction strategies in response to design rainfall and low impact development. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 242, p. 118515, 2020.

IBGE. **CENSO Demográfico 1950/2010: população por situação de domicílio (população presente e residente)**. 2022. Disponível em: <<https://serieestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?no=10&op=0&vcodigo=CD91&t=populacao-situacao-domicilio-populacao-presente-residente.>>. Acesso em: 15 maio. 2024.

JARDIM, W. F. Medição e interpretação de valores do potencial redox (EH) em matrizes ambientais. **Química Nova**, [s. l.], v. 37, n. 7, p. 1233–1235, 2014.

JIA, Z.; TANG, S.; LUO, W.; LI, S.; ZHOU, M. Small scale green infrastructure design to meet different urban hydrological criteria. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 171, p. 92–100, 2016.

JOHNSTON, M. R.; BALSTER, N. J.; THOMPSON, A. M. Vegetation alters soil water drainage and retention of replicate rain gardens. **Water (Switzerland)**, [s. l.], v. 12, n. 11, p. 1–23, 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**. (D. Loorbach, H. Shiroyama, J. M. Wittmayer, J. Fujimo, & S. Mizuguchi, Eds.; Vol. 1). The University of Tokyo. 2017.

KARCZMARCZYK, A.; KAMINSKA, M. Phosphorus leaching from substrates commonly used in rain gardens. **E3S Web of Conferences**, [s. l.], v. 171, p. 1–5, 2020.

KAVEHEI, E.; JENKINS, G. A.; LEMCKERT, C.; ADAME, M. F. Carbon stocks and sequestration of stormwater bioretention/biofiltration basins. **Ecological Engineering**, [s. l.], v. 138, n. June, p. 227–236, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.07.006>>

KAYKHOSRAVI, S.; KHAN, U. T.; JADIDI, M. A. A simplified geospatial model to rank LID solutions for urban runoff management. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 831, n. March, p. 14, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154937>>

KHAN, U. T.; VALEO, C.; CHU, A.; VAN DUIN, B. Bioretention cell efficacy in cold climates: Part 1 - hydrologic performance. **Canadian Journal of Civil Engineering**, [s. l.], v. 39, n. 11, p. 1210–1221, 2012. a.

KIM, G.; MILLER, P. A. The impact of green infrastructure on human health and well-being: The example of the Huckleberry Trail and the Heritage Community Park and Natural Area in Blacksburg, Virginia. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 48, n. March, p. 101562, 2019.

LAW, E. P.; DIEMONT, S. A. W.; TOLAND, T. R. A sustainability comparison of green infrastructure interventions using emergy evaluation. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 145, p. 374–385, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.039>>

LI, G.; XIONG, J.; ZHU, J.; LIU, Y.; DZAKPASU, M. Design influence and evaluation model of bioretention in rainwater treatment: A review. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 787, n. 13, p. 147592, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147592>>

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento da água**. Campinas, SP: Editora Átomo, 2005.

LIM, H. S.; LU, X. X. Sustainable urban stormwater management in the tropics: An evaluation of Singapore's ABC Waters Program. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 538, p. 842–862, 2016.

LIU, K.; LI, J.; XIA, J.; GAO, X.; GAO, J.; JIANG, C. Study on LID Facilities Comprehensive Effect Evaluation: A case in Campus. **Ecohydrology and Hydrobiology**, [s. l.], v. 22, n. 3, 2022.

LOMBARDÍA, A.; GÓMEZ-VILLARINO, M. T. Green infrastructure in cities for the achievement of the un sustainable development goals: a systematic review. **Urban Ecosystems**, [s. l.], v. 26, n. 6, p. 1693–1707, 2023.

MA, Y.; NALL, J.; O'BANNON, D. Assessment of Orifice-Controlled Flow Monitoring Device for Rain Garden Performance. **Journal of Sustainable Water in the Built Environment**, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 05018002, 2018.

MAIA, J. L. M.; NETTO, V. M.; DA COSTA, B. L. G. Urban form and atmospheric pollution: Assessing impacts in Rio de Janeiro. **Urbe**, [s. l.], n. 11, 2019.

MANQUIZ-REDILLAS, M. C.; KIM, L. H. Evaluation of the capability of low-impact development practices for the removal of heavy metal from urban stormwater runoff. **Environmental Technology (United Kingdom)**, [s. l.], v. 37, n. 18, p. 2265–2272, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/09593330.2016.1147610>>

MARC & APWA. **Manual of Best Management Practices For Stormwater Quality**. Final ed. Kansas City. 334 p. 2012.

MARIOTTONI, C. A.; CANADA, C. B. dos S. Aplicação do método Delphi na prática de serviços ambientais em mananciais. **Revista DAE**, [s. l.], v. 66, n. 209, p. 122–133, 2018.

MARQUES, T. H. N.; RIZZI, D.; PELLEGRINO, P. R. M.; MOURA, N. C. B. JAGUARÉ PROJECT: REQUALIFICATION OF URBAN HYDROGRAPHIC BASINS METHODOLOGY. **revista LABVERDE**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 12–27, 2018.

MATTHEWS, T.; LO, A. Y.; BYRNE, J. A. Reconceptualizing green infrastructure for climate change adaptation: Barriers to adoption and drivers for uptake by spatial planners. **Landscape and Urban Planning**, [s. l.], v. 138, p. 155–163, 2015.

MEHRING, A. S.; HATT, B. E.; KRAIKITTIKUN, D.; ORELO, B. D.; RIPPY, M. A.; GRANT, S. B.; GONZALEZ, J. P.; JIANG, S. C.; AMBROSE, R. F.; LEVIN, L. A. Soil invertebrates in Australian rain gardens and their potential roles in storage and processing of nitrogen. **Ecological Engineering**, [s. l.], v. 97, p. 138–143, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.09.005>>

MELO, T.; COUTINHO, A.; CABRAL, J.; ANTONINO, A.; CIRILO, J. Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 147–165, 2014.

MENG, T.; HSU, D. Stated preferences for smart green infrastructure in stormwater management. **Landscape and Urban Planning**, [s. l.], v. 187, n. March, p. 1–10, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.03.002>>

MEYER, P. D.; GEE, G. W. Flux-Based Estimation of Field Capacity. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, [s. l.], v. 125, n. 7, p. 595–599, 1999.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Sistema Nacional de informações sobre saneamento 2021**. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel>>. Acesso em: 9 jan. 2024.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Guia do plano de ação – Periferia Viva**. 96 p. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/assuntos/publicacoes/arquivos/arquivos/periferias/guia-do-plano-de-acao-periferia-viva-snp-ministerio-das-cidades-urbanizacao-de-favelas.pdf?authuser=3>. Acesso em: 14 dez. 2024.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Programa Cidades + Verdes**. [s.l: s.n.].

MORASH, J.; WRIGHT, A.; LEBLEU, C.; MEDER, A.; KESSLER, R.; BRANTLEY, E.; HOWE, J. Increasing sustainability of residential areas using rain gardens to improve pollutant capture, biodiversity and ecosystem resilience. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 11, n. 12, 2019.

MOURA, N. C. B.; PELLEGRINO, P. R. M.; MARTINS, J. R. S. Best management practices as an alternative for flood and urban storm water control in a changing climate. **Journal of Flood Risk Management**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 243–254, 2016.

MOURI, G.; TAKIZAWA, S.; OKI, T. Spatial and temporal variation in nutrient parameters in stream water in a rural-urban catchment, Shikoku, Japan: Effects

of land cover and human impact. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 92, n. 7, p. 1837–1848, 2011.

NICHOLS, W.; WELKER, A.; TRAVER, R.; TU, M. “Peter”. Modeling Seasonal Performance of Operational Urban Rain Garden Using HYDRUS-1D. **Journal of Sustainable Water in the Built Environment**, [s. l.], v. 7, n. 3, p. 04021005, 2021.

NICKEL, D.; SCHOENFELDER, W.; MEDEARIS, D.; DOLOWITZ, D. P.; KEELEY, M.; SHUSTER, W. German experience in managing stormwater with green infrastructure. **Journal of Environmental Planning and Management**, [s. l.], v. 57, n. 3, p. 403–423, 2014.

NYC ENVIRONMENTAL PROTECTION. Maintenance Manual Rain Garden Stewardship Program. Nova York. Disponível em: <<https://www.nyc.gov/assets/dep/downloads/pdf/water/stormwater/green-infrastructure/rain-garden-stewardship-manual.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2024.

O'DONNELL, E. C.; LAMOND, J. E.; THORNE, C. R. Recognising barriers to implementation of Blue-Green Infrastructure: a Newcastle case study. **Urban Water Journal**, [s. l.], v. 14, n. 9, p. 964–971, 2017.

OHNUMA JR., A. A. **Medidas não convencionais de reservação d'água e controle da poluição hídrica em lotes domiciliares**. 2008. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

OHNUMA JR., A. A.; MARQUES, M.; DA SILVA, L. P. Efeitos Globais Da Temperatura E Da Precipitação Em Telhados Verdes. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s. l.], v. 20, p. 234–251, 2017.

OHNUMA JR, A. A.; MENDIONDO, E. M. Metodologia Para Cálculo De Eficiência De Técnicas Compensatórias Em Lote Urbano. **Revista Internacional de Ciências**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 29–41, 2015.

OKANAGAN BASIN WATER BOARD - OBWB. **Slow it. Spread it. Sink it!** Second Edi ed. Kelowna: Okanagan Basin Water Board, 2021. Disponível em: <www.okwaterwise.ca>

OLIVEIRA, T. de L.; VIGODERIS, R. B.; MELO, E. S. R. L. De; LEITE, G. S.; SILVA, J. M. Da; SILVA, P. H. B. B. Da; SILVA, A. M. A.; PACHÊCO, C. R. X. GREEN ROOF IN CO₂ CAPTURE: CASE STUDY IN GARANHUNS - PE. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, [s. l.], v. 17, n. 10, 2023.

PAULIN, M.; REMME, R. P.; DE NIJS, T. Amsterdam Green Infrastructure: Valuing Nature's Contributions to People. **RIVM Letter report 2019-0021**, [s. l.], p. 79, 2019.

PERALES-MOMPARLER, S.; ANDRÉS-DOMÉNECH, I.; HERNÁNDEZ-CRESPO, C.; VALLÉS-MORÁN, F.; MARTÍN, M.; ESCUDER-BUENO, I.; ANDREU, J. The role of monitoring sustainable drainage systems for promoting transition towards regenerative urban built environments: a case study in the Valencian region, Spain. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 163, p. 113–124, 2017.

PEREIRA, M. C. S.; GOBATTI, L.; SOARES, M. C.; LEITE, B. C. C.; MARTINS, J. R. S. Soluções baseadas na natureza: quadro da ocupação da cidade de São Paulo por células de biorretenção. **Revista LABVERDE**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 95–120, 2021.

PDT - PORTLAND DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. **NE Siskiyou Green Street Report**. Disponível em: <<https://www.asla.org/sustainablelandscapes/greenstreet.html>>. 2005. Acesso em 16 de maio de 2024.

PMCRJ – Prefeitura Municipal da Cidade do Rio de Janeiro. **Decreto nº 23.940, 30 de janeiro de 2004**. Obriga a adoção de reservatórios de retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem.

_____. **Decreto nº 26.168, de 9 de janeiro de 2006**. Isenta a obrigatoriedade da adoção dos reservatórios previstos no decreto 23.940/2004.

_____. **Decreto nº 32.119 de 13 de abril de 2010**. Altera o decreto nº 23.940 de 30 de janeiro de 2004, que dispõe sobre a obrigatoriedade de adoção de reservatórios.

_____. **Calçadas Cariocas - conceitos, parâmetros e normas**. Secretaria Municipal de Urbanismo. Rio de Janeiro. 2019. Disponível em: <<http://prefeitura.rio/web/smu/exibeconteudo?id=9599571>>.

_____. **Lei Complementar Nº 198 de 14 de janeiro de 2019**. Institui o código de obras e edificações da cidade.

_____. **Mutirão reflorestamento**. [s.d.]. Disponível em: <<https://refloresta-rio-pcrj.hub.arcgis.com/>>. Acesso em: 9 dez. 2023.

PSP - Prefeitura de São Paulo. Lei nº 11.509 de 13 de abril de 1994. Proíbe a lavagem de calçadas com água tratada ou potável.

_____. Lei nº 16.172 de 17 de abril de 2015. Regulamenta proibição a lavagem de calçadas com água tratada ou potável. Publicado no diário oficial da cidade de São Paulo, em 18 de abril de 2015.

PRO SUSTENTÁVEL. **Programa Região Oceânica Sustentável**. 2024. Disponível em: <<http://www.prosustentavel.niteroi.rj.gov.br/>>. Acesso em: 16 jan. 2024.

QIN, Y. Urban flooding mitigation techniques: A systematic review and future studies. **Water (Switzerland)**, [s. l.], v. 12, n. 12, 2020.

QIU, J. China faces up to groundwater crisis. **Nature**, [s. l.], v. 466, p. 308, 2010. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/466308a>>. Acesso em: 18 maio. 2024.

RAHMAN, M. A.; MOSER, A.; RÖTZER, T.; PAULEIT, S. Comparing the transpirational and shading effects of two contrasting urban tree species. **Urban Ecosystems**, [s. l.], v. 22, n. 4, p. 683–697, 2019.

RAHMAN, M. A.; STRATOPOULOS, L. M. F.; MOSER-REISCHL, A.; ZÖLCH, T.; HÄBERLE, K. H.; RÖTZER, T.; PRETZSCH, H.; PAULEIT, S. Traits of trees for cooling urban heat islands: A meta-analysis. **Building and Environment**, [s. l.], v. 170, n. September 2019, 2020.

RAINEY, W.; MCHALE, M.; ARABI, M. Characterization of co-benefits of Green stormwater infrastructure across ecohydrologic regions in the United States.

Urban Forestry & Urban Greening, [s. l.], v. 70, n. February, p. 127514, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127514>>

RAMOS, D. V.; CAMPOS, J. F. RECURSOS E INSTRUMENTOS DE GESTÃO APLICÁVEIS À DRENAGEM URBANA NO BRASIL. **Journal of Exact Sciences**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 05–07, 2020. Disponível em: <<http://www.mastereditora.com.br/jes>>

RATINAUD, P. **IRAMUTEQ - Interface R para análise multidimensional de textos e questionários.**, Laboratoire LERASS, 2020.

RIO-ÁGUAS. **Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana (segunda versão).** PMCRJ. Rio de Janeiro. 59 p. 2019.

ROY, A. H.; RHEA, L. K.; MAYER, A. L.; SHUSTER, W. D.; BEAULIEU, J. J.; HOPTON, M. E.; MORRISON, M. A.; ST AMAND, A. How much is enough? Minimal responses of water quality and stream biota to partial retrofit stormwater management in a suburban neighborhood. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 1–14, 2014.

ROY, A. H.; WENGER, S. J.; FLETCHER, T. D.; WALSH, C. J.; LADSON, A. R.; SHUSTER, W. D.; THURSTON, H. W.; BROWN, R. R. Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: Lessons from Australia and the United States. **Environmental Management**, [s. l.], v. 42, n. 2, p. 344–359, 2008.

RUPPERT, E., & BARNES, R. **Zoologia dos invertebrados: uma abordagem funcional-evolutiva** (C. Marques, Ed.; 7th ed.). Roca. 2005.

SÃO PAULO. Lei nº 12.526, de 2 de janeiro 2007. Estabelece normas para a contenção de enchentes e destinação de águas pluviais. **Diário oficial do Estado de São Paulo. Assembleia Legislativa**, 03 de janeiro de 2007, p.7.

SHAFIQUE, M.; KIM, R.; RAFIQ, M. Green roof benefits, opportunities and challenges – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 90, n. March, p. 757–773, 2018.

SHIN, D. W.; MCCANN, L. Enhancing Adoption Studies: The Case of Residential Stormwater Management Practices in the Midwest. **Agricultural and Resource Economics Review**, [s. l.], v. 47, n. 1, p. 32–65, 2018.

SILVA, M. C. A.; MONTEGGIA, L. O.; MIRANDA, L. A. S.; THEWES, M. R. Avaliação da viabilidade de utilização de colífangos como indicadores de poluição fecal: Suas relações com parâmetros físicos e químicos e indicadores bacterianos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s. l.], v. 20, n. 4, p. 645–652, 2015.

SILVA, E. D. S.; FERNANDEZ, M. A. D. S.; LOPES, A. P.; COSTA, B. S.; PEREIRA, S. S.; PEREIRA, M. V. Variação de pH, salinidade e temperatura viabilizantes para estabelecimento do *Vibrio cholerae* nas águas portuárias da cidade do Rio de Janeiro, Brasil. **Vigilância Sanitária em Debate**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 14–22, 2019.

SILVA, G. N. da; ALVES, L. D.; SANTOS, I. E. dos; BILA, D. M.; JÚNIOR, A. A. O.; CORRÊA, S. M. An assessment of atmospheric deposition of metals and the physico - chemical parameters of a rainwater harvesting system in Rio de Janeiro Brazil, by means of statistical multivariate analysis. **Revista Ambiente e Agua**, [s. l.], v. 15, n. 4, 2020.

SIMEDO, M. B. L.; MARTINS, A. L. M.; PISSARRA, T. C. T.; LOPES, M. C.; COSTA, R. C. A.; VALLE-JUNIOR, R. F.; CAMPANELLI, L. C.; ROJAS, N. E. T.; FINOTO, E. L. Effect of watershed land use on water quality: A case study in córrego da olaria basin, são paulo state, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, [s. l.], v. 78, n. 4, p. 625–635, 2018.

ŠIMŮNEK, J.; ŠEJNA, M.; SAITO, H.; SAKAI, M.; VAN GENUCHTEN, M. **The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media**. Riverside, California.

SIWIEC, E.; ERLANDSEN, A. M.; VENNEMO, H. City Greening by Rain Gardens - Costs and Benefits. **Ochrona Srodowiska i Zasobow Naturalnych**, [s. l.], v. 29, n. 1, p. 1–5, 2018.

SNYDER, H. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, [s. l.], v. 104, p. 333–339, 2019.

SØBERG, L. C.; VIKLANDER, M.; BLECKEN, G. T. Do salt and low temperature impair metal treatment in stormwater bioretention cells with or without a submerged zone? **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 579, p. 1588–1599, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.179>>

SONG, J.; WANG, J.; XI, G.; LIN, H. Evaluation of stormwater runoff quantity integral management via sponge city construction: A pilot case study of Jinan. **Urban Water Journal**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 151–162, 2021.

STOBBELAAR, D. J.; VAN DER KNAAP, W.; SPIJKER, J. Transformation towards Green Cities: Key Conditions to Accelerate Change. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 14, n. 11, p. 1–16, 2022.

STRINGER, S. M.; LANDA, M.; DINKINS, D. N. **City of New York OFFICE OF THE COMPTROLLER AUDITS AND SPECIAL REPORTS Audit Report on the Department of Environmental Protection's Maintenance of Rain Gardens THE CITY OF NEW YORK OFFICE OF THE COMPTROLLER**. [s. l.: s. n.]. Disponível em: <<http://comptroller.nyc.gov>>.

TARGA, M. dos S.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. N.; DIAS, N. W.; MATOS, F. C. De. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 120–142, 2012.

TEIXEIRA, C. A.; BUDEL, M. A.; CARVALHO, K. Q. De; BEZERRA, S. M. da C.; GHISI, E. Estudo comparativo da qualidade da água da chuva coletada em telhado com telhas de concreto e em telhado verde para usos não potáveis. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 135–155, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212017000200135&lng=pt&tlng=pt>

TILLIE, N.; VAN DER HEIJDEN, R. Advancing urban ecosystem governance in Rotterdam: From experimenting and evidence gathering to new ways for

integrated planning. **Environmental Science and Policy**, [s. l.], v. 62, p. 139–145, 2016.

TIRPAK, R. A.; AFROOZ, A. N.; WINSTON, R. J.; VALENCA, R.; SCHIFF, K.; MOHANTY, S. K. Conventional and amended bioretention soil media for targeted pollutant treatment: A critical review to guide the state of the practice. **Water Research**, [s. l.], n. 189, p. 17, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116648>>

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**, [s. l.], v. 14, n. 3, p. 207–222, 2003. Acesso em: 22 dez. 2023.

TUCCI, C. E. M. Regulamentação da drenagem urbana no Brasil. **REGA**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 29–42, 2016.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia - Ciência e Aplicação** (ABRH, Ed.; 4th ed., Vol. 4). UFRGS / ABRH. 2020.

UNIVERSITY OF ARKANSAS COMMUNITY DESIGN CENTER - UACDC. (2010). **LID - Low Impact Development: a design manual for urban areas**. In University of Arkansas Press (Vol. 1). University of Arkansas Press. 2010. <https://doi.org/10.4324/9780429281235-2>

URETA, J.; MOTALLEBI, M.; SCARONI, A. E.; LOVELACE, S.; URETA, J. C. Understanding the public's behavior in adopting green stormwater infrastructure. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 69, n. March, p. 102815, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102815>>

USDA - United Resources Conservation Service. **Urban Hydrology for Small Watersheds**. In: Soil Conservation (Issue Technical Release 55 (TR-55)). 1986.

<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Urban+Hydrology+for+Small+watersheds#1>

USDA – United States Department of Agriculture. **Soil Survey Manual**. Soil Science Division Staff. n.18. 639 p. 2017. Disponível em:

<<https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/The-Soil-Survey-Manual.pdf>>

VALINSKI, N. A.; CHANDLER, D. G. Infiltration performance of engineered surfaces commonly used for distributed stormwater management. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 160, p. 297–305, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.06.032>>

WANG, J.; CHUA, L. H. C.; SHANAHAN, P. Hydrological modeling and field validation of a bioretention basin. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 240, n. November 2018, p. 149–159, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.090>>

WIJESIRI, B.; LIU, A.; GOONETILLEKE, A. Impact of global warming on urban stormwater quality: From the perspective of an alternative water resource. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 262, p. 121330, 2020.

WILKERSON, B.; ROMANENKO, E.; BARTON, D. N. Modeling reverse auction-based subsidies and stormwater fee policies for Low Impact Development (LID) adoption: a system dynamics analysis. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 79, n. December 2021, p. 18, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103602>>

WINFREY, B. K.; HATT, B. E.; AMBROSE, R. F. Arbuscular mycorrhizal fungi in Australian stormwater biofilters. **Ecological Engineering**, [s. l.], v. 102, p. 483–489, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.02.041>>

XINHUA. Sponge city construction makes a northern Chinese city “breathe”. 2021. Disponível em: <http://en.qsttheory.cn/2021-08/04/c_648458.htm>. Acesso em: 20 dez. 2023.

XU, C.; TANG, T.; JIA, H.; XU, M.; XU, T.; LIU, Z.; LONG, Y.; ZHANG, R. Benefits of coupled green and grey infrastructure systems: Evidence based on analytic hierarchy process and life cycle costing. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 151, n. April, p. 1–10, 2019.

YUAN, J.; DUNNETT, N. Plant selection for rain gardens: Response to simulated cyclical flooding of 15 perennial species. **Urban Forestry and Urban Greening**, [s. l.], v. 35, n. January, p. 57–65, 2018.

YUE, C.; LI, L. Y.; JOHNSTON, C. Exploratory study on modification of sludge-based activated carbon for nutrient removal from stormwater runoff. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 226, n. July, p. 37–45, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.089>>

ZHANG, K.; DELETIC, A.; PAGE, D.; MCCARTHY, D. T. Surrogates for herbicide removal in stormwater biofilters. **Water Research**, [s. l.], v. 81, p. 64–71, 2015.

ZHANG, L.; OYAKE, Y.; MORIMOTO, Y.; NIWA, H.; SHIBATA, S. Rainwater storage/infiltration function of rain gardens for management of urban storm runoff in Japan. **Landscape and Ecological Engineering**, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 421–435, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11355-019-00391-w>>

ZHANG, Z.; LI, J.; JIANG, C.; LI, Y.; ZHANG, J. Impact of nutrient removal on microbial community in bioretention facilities with different underlying types/built times at field scale. [s. l.], 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106542>>. Acesso em: 4 dez. 2023.

APÊNDICE A – Pesquisa de opinião para trabalho de tese de doutorado

Pesquisa de opinião para trabalho de tese de doutorado

Apresentação:

Olá, me chamo Fabio Gondim, sou biólogo e servidor licenciado do Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia (INEMA). Atualmente me encontro em fase final de doutoramento em Engenharia Ambiental, pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). A tese tem como um dos objetivos avaliar o conhecimento do efeito de determinadas técnicas compensatórias na redução da poluição carregada pela chuva (poluição difusa pela deposição úmida), no escoamento superficial de rios urbanos, assim como a retenção de volumes escoados no sistema de drenagem urbano, a partir da captação e reservação da água da chuva.

Convidamos para participar de forma anônima e voluntária, do preenchimento do questionário a seguir, com a duração prevista de no máximo 5 minutos.

Objetivo
do questionário:

Quantificar a abrangência de termos utilizados em tópicos de sustentabilidade urbana, rios urbanos, cidades sustentáveis, aquecimento global e desenvolvimento sustentável.

Maiores informações:

Fabio R. Gondim

Celular: (21) 99870-0202

E-mail: gondimfr@gmail.com

Curriculo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1736588463496448>

Seção sem título

1. 1 – Caracterização do perfil profissional.

Em qual dos grupos abaixo você se enquadra profissionalmente? (pergunta 1 de 10).

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Gestor público (vinculado a órgão ambiental ou Secretaria de governo)
- ☐ Político (de cargo eletivo com interesse na área ambiental)
- ☐ Professor universitário e/ou pesquisador
- ☐ Profissional liberal e/ou contratado por empresa privada
- ☐ Profissional vinculado ao terceiro setor com atuação na área ambiental
- ☐ Aluno de graduação

2. 2 - Conhecimentos gerais

2.1 – Dentre as estruturas citadas abaixo, quais delas você poderia dizer que conhece a estrutura e alguma funcionalidade dela? (Pergunta 2 de 10)

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Jardim de Chuva
- ☐ Telhado Verde
- ☐ Piso permeável
- ☐ Biovaleta
- ☐ Nenhuma das citadas acima

3. 2.2 – A depender do país onde são aplicadas as técnicas nomeadas na questão anterior, diferentes nomenclaturas são utilizadas para defini-las. No Brasil, já vemos grupos de pesquisas utilizando ao menos duas com mais frequência. Dentre os nomes citados abaixo, qual você acredita que define melhor sua aplicação: (pergunta 3 de 10)

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Drenagem urbana sustentável (SUDs)
- ☐ Cidade esponja
- ☐ Infraestrutura verde (VI)
- ☐ Soluções Baseadas na natureza (SBN)
- ☐ Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID)
- ☐ Outro: _____

3 - Pesquisa de opinião

Essas técnicas já são difundidas em muitos países há mais de 20 anos, porém no Brasil, são pouquíssimos utilizados. Na sua opinião, avalie os próximos 6 (seis) itens, quanto o grau de influência das citações para a construção deste cenário, com valores que vão de 1 (pouco importante) até 5 (muito importante), ou deixe em branco caso não saiba avaliar:

4. 3.1 - Desconhecimento geral sobre as técnicas. (pergunta 4 de 10)

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
pou	☐	☐	☐	☐	☐	mu
						to importante

5. 3.2 - Falta de parâmetros técnicos para construção e manutenção das estruturas. (pergunta 5 de 10)

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
pou	☐	☐	☐	☐	☐	mu
						to importante

6. 3.3 - Incerteza quanto a real eficácia das técnicas. (pergunta 6 de 10)

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
pou	☐	☐	☐	☐	☐	mu

7. 3.4 - Alto custo financeiro para implementação. (pergunta 7 de 10)

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
pou	☐	☐	☐	☐	☐	mu

8. 3.5 - Inexistência de incentivo financeiro governamental para a implementação. (pergunta 8 de 10)

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
pou	☐	☐	☐	☐	☐	mu

9. 3.6 - A ausência de legislações ou normas que obriguem ou estimulem a implementação das técnicas. (pergunta 9 de 10)

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
pou	☐	☐	☐	☐	☐	mu

10. 3.7 – Sua cidade possui alguma legislação específica que estimule ou defina regras sobre Soluções Baseadas na Natureza (SBN)? (Pergunta 10 de 10)

Marque todas que se aplicam.

☐ Não

☐ Sim

11. Por último, gostaria de agradecer sua participação e disponibilidade nesta pesquisa, e deixo abaixo o espaço para algum comentário que queira fazer sobre o assunto.

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

APÊNDICE B – Tabela de levantamento de legislações sobre a temática de Infraestrutura Verde.

Nível da lei (federal, estadual, municipal)	Local (Brasil ou município e estado)	Número da lei	Tipo de ação abordada para manejo de águas pluviais (estrutural - obra ou não estrutural planejamento)	Se estrutural: Qual tipo de estrutura?	Qual tipo de dispositivo legal? (incentivo fiscal, obrigação, diretriz, etc...)	Especifica a área mínima de contribuição para que o dispositivo legal seja aplicado?	Possui especificações técnicas para as estruturas?	Se sim, qual a especificação técnica?	O município ou estado tem algum instrumento de capacitação profissional (p. ex.: manual, curso)? *isso deve ser buscado fora da legislação	Menciona qualidade da água?	Especificidades da legislação que vale a pena ser comentado
Municipal	BA - Lauro de Freitas	Lei nº 1.961/21	Estrutural	Telhado verde e captação da água da chuva	Incentivo fiscal (IPTU verde) de 2,5 a 5 % por 2 anos renováveis (sem limite)	Telhado verde em pelo menos 25% da área do cobertura do imóvel; aproveitamento em 60% das águas pluviais da área de cobertura.			não achei nada	Não	Os descontos do IPTU são de 2,5% para imóveis que adotarem 2 estratégias sustentáveis constantes na lei, ou de 5% para quem adotar ao menos 4 estratégias. Duração de 2 anos revados enquanto o proprietário solicitar.
Municipal	BA - Salvador	Decreto nº 36.288 / 2022	Estrutural	Piso permeável, telhado verde e biovaletas	Incentivo fiscal (IPTU) de adesão voluntária, tanto para edificações novas como para já existentes	Piso permeável em pelo menos 60% da área do passeio, piso com permeabilidade mínima de 80%. Telhado verde em 50% do teto da edificação (excluindo para cálculo de área as calças das escadas, elevadores, heliportos...). Acréscimo de 10% de área permeável mínima exigida para o terreno.	Não		Sim, possui uma Secretaria de Resiliência Climática, que realiza treinamentos para implantação de Jardins de Chuva (em 2022 teve uma oficina com 30 técnicos capacitados) e possui um Plano de Ação Climática com metas do ano de 2020 a 2049, plano genérico, sem detalhamentos ou metodologias.	Não	Descontos de IPTU progressivos de 5, 7 ou 10 %, a depender da nota da avaliação conforme requisitos da lei.
Municipal	BA - Salvador	Lei nº 9069/16	não estrutural		Diretriz para implementação de jardim de chuva como alternativa para manejo das águas urbanas	não	não		Possui uma Secretaria de Resiliência Climática, que realiza treinamentos para implantação de Jardins de Chuva (em 2022 teve uma oficina com 30 técnicos capacitados) e possui um Plano de Ação Climática com metas do ano de 2020 a 2049.	Não	PDDU do município de Salvador.
Federal	Brasil	Decreto nº 7217 / 2010	Não estrutural	Drenagem urbana; detenção ou retenção de águas pluviais urbanas para amortecimento de vazões de cheias e tratamento e disposição final de águas pluviais urbanas.	Cobrança pelo serviço de manejo de águas pluviais urbanas: na forma de tributos, inclusive taxas, em conformidade com o regime de prestação do serviço ou de suas atividades.	Não	Não	Não se aplica	?	Menciona nos serviços de manejo das águas pluviais urbanas os sistemas de tratamento e disposição final.	Art. 16. A cobrança pela prestação do serviço público de manejo de águas pluviais urbanas deverá levar em conta, em cada lote urbano, o percentual de área impermeabilizada e a existência de dispositivos de amortecimento ou de retenção da água pluvial, bem como poderá considerar: I - nível de renda da população da área atendida, e II - características dos lotes urbanos e as áreas que podem ser neles edificadas.
Federal	Brasil	Lei nº 13.153 / 2015	Estrutural	em desenvolvimento	em desenvolvimento	em desenvolvimento	em desenvolvimento	em desenvolvimento	em desenvolvimento	em desenvolvimento	em desenvolvimento
Federal	Brasil	Projeto de lei 1703-A/2011	Estrutural	Telhado verde	Incentivo fiscal	Não	Sim	Componentes do sistema, especificações e capacidade da laje		Não	
Estadual	RJ	Lei nº 6.349 / 2012	Estrutural	Telhado Verde	Autoriza o poder público a prever a construção de telhados verdes nos prédios públicos, autarquias e fundações do Estado.	Não	Não	As especificações técnicas ficam a cargo da Secretaria de Estado de Obras, Secretaria de Estado do Ambiente e da Empresa de Obras Públicas do Estado do Rio de Janeiro - EMOP.	O Poder Executivo fica autorizado a promover cursos e palestras para a divulgação das técnicas imprescindíveis à realização do projeto, como estrutural, tipos de vegetação e substrato. Checar se houve já algum tipo desses eventos e checar se as especificações técnicas podem ser encontradas em algum lugar.	Não	
Estadual	RJ	Lei nº 7.772 / 2017	Estrutural	Reservatórios públicos (piscinões)	Autoriza a criação do sistema de reservatórios públicos para escoamento e aproveitamento das águas pluviais.	Não	Não	Não se aplica		Não	As águas armazenadas nos reservatórios poderão ser reutilizadas para fins não potáveis, desde que respeitadas as diretrizes e parâmetros determinados por lei para cada atividade fim.
Estadual	RJ	Lei nº 4.393 / 2004	Estrutural	Captação de água da chuva	Obrigação para as novas construções	empreendimentos com mais de 50 famílias ou se comerciais com mais de 50m2 de área construída	Não	Não se aplica	N.A.	Não	Não
Estadual	RJ	Lei nº 9.164 / 2020	Estrutural	Reservatórios	Obrigatório para novas construção unifamiliares, ou reformas com acréscimos	Unifamiliares novas com + 100 m2 ou reformas com + de 100m2 / multifamiliares, shopping ou públicos com + de 300 m² de garagem, telhado, piso impermeabilizado.	sim	Art 5. II - os reservatórios de retardo deverão ter o seu volume calculado pela seguinte fórmula: $V = 7 \times \sum (K_i \times A_i \times h_i)$, onde: V - 7= volume do reservatório, em litros (L); K_i = coeficiente de escoamento superficial (runoff), correspondente ao tipo de superfície de cada uma das áreas de coleta; A_i = área impermeabilizada de cada uma das áreas de coleta, em metros quadrados (m²); h = altura pluviométrica, em milímetros (mm), considerada como a média pluviométrica dos últimos cinco anos.	N.A.	sim, mas só diz que deve se basear na ABNT NBR 16.783.	Trata também de captação e reuso de água cinza
Municipal	RJ - Rio de Janeiro	Decreto nº 23.940 / 2004	Estrutural	Reservatório	Obrigatório	Novas construções plurifamiliares ou comerciais com áreas superiores de telhados com 500m² ou reformas com acréscimo de mais de 100 m².	sim	Para o volume dos reservatório: $V = k \times A_i \times h$, onde V = volume do reservatório em m3, k = coeficiente de abastecimento, correspondente a 0,15; A_i = área impermeabilizada (m2); h = altura de chuva (metro), correspondente a 0,06m nas Áreas de Planejamento 1, 2 e 4 e a 0,07m nas Áreas de Planejamento 3 e 5.	N.A.	sim, diz estar de acordo com as normas sanitárias vigentes do município	objetivo de retenção de água da chuva
Municipal	RJ - Rio de Janeiro	Decreto nº 26.168 / 2006	Estrutural	Reservatório	Isenção	Isenta da instalação de reservatórios habitações populares.					
Municipal	RJ - Rio de Janeiro	Decreto nº 32.119 / 2010	Estrutural	Reservatório	Isenção	Isenta da instalação empreendimentos que deságue em rede de drenagem que prossiga até o deságue final em lagos ou no oceano.					
Municipal	RJ - Rio de Janeiro	Decreto nº 35.745 / 2012	Estrutural e não estrutural	promoção da gestão de água sustentável, com captação e reuso de água, telhado verde e outros.	Incentivo	não	não	não	não	não	Concede o selo, nenhum desconto em IPTU ou algo.