UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES, COMUNICAÇÃO E DESIGN

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

LUCAS RAFAEL BORTOLOTTO HENRIQUE

METODOLOGIAS APLICADAS AO PLANEJAMENTO E PROJETO DE INFRAESTRUTURA VERDE E AZUL

Bauru
2025

LUCAS RAFAEL BORTOLOTTO HENRIQUE

METODOLOGIAS APLICADAS AO PLANEJAMENTO E PROJETO DE INFRAESTRUTURA VERDE E AZUL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, da Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", campus de Bauru, como requisito final para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Profa. Dra. Marta Enokibara.

Bauru
2025

H519m

Henrique, Lucas Rafael Bortolotto
Metodologias aplicadas ao Planejamento e Projeto de Infraestrutura Verde e Azul / Lucas Rafael Bortolotto Henrique. -- Bauru, 2025
129 f. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Bauru
Orientador: Marta Enokibara

1. Infraestrutura Verde e Azul. 2. Paisagem Urbana. 3. Revisão Sistemática. 4. Gestão de Águas Pluviais. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Bauru

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE LUCAS RAFAEL BORTOLOTTO HENRIQUE, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES, COMUNICAÇÃO E DESIGN - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 27 dias do mês de março do ano de 2025, às 16h, no(a) Departamento de Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo e Sala virtual do Google Meet: https://meet.google.com/hpb-bgzg-qwz?authuser=0, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de LUCAS RAFAEL BORTOLOTTO HENRIQUE, intitulada **Metodologias aplicadas ao Planejamento e Projeto de Infraestrutura Verde e Azul**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Professora Doutora MARTA ENOKIBARA (Orientador(a) - Participação Presencial) do(a) Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo / FAAC/UNESP/Bauru, Professora Doutora NORMA REGINA TRUPPEL CONSTANTINO (Participação Presencial) do(a) Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo / Faculdade de Arquitetura Artes e Comunicação de Bauru/Unesp, Professor Associado PAULO RENATO MESQUITA PELLEGRINO (Participação Virtual) do(a) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo / Universidade de São Paulo. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão

Professora Doutora MARTA ENOKIBARA

RESUMO

Nos últimos anos, a Infraestrutura Verde e Azul (IVA), compreendida como uma rede multifuncional interconectada de elementos verdes e azuis, naturais ou construídos, tem se consolidado como uma abordagem de planejamento e projeto da paisagem sob o paradigma ambiental. Investigar e sistematizar as estratégias metodológicas aplicadas ao Planejamento e Projeto de IVA, com enfoque no manejo sustentável de águas pluviais em áreas urbanas, é o objetivo geral dessa pesquisa. Para tanto, metodologicamente, a pesquisa foi dividida em 2 partes: na primeira, busca-se investigar, a partir de uma revisão bibliográfica, um referencial teórico sobre a evolução do planejamento e do projeto da paisagem ao longo dos séculos XIX e XX, além de discutir as bases conceituais da infraestrutura verde e azul, seus princípios e contribuições para o projeto da paisagem; na segunda, adota-se uma Análise Bibliométrica em bases de dados internacionais e, a partir de uma Revisão Sistemática da Literatura, busca-se identificar tendências em trabalhos que abordam o manejo de águas pluviais, sistematizando-os quanto aos métodos, às técnicas e ferramentas empregadas. Ao final, é apresentado um quadro metodológico visando subsidiar o planejamento e projeto de Infraestrutura Verde e Azul.

Palavras-chave: Infraestrutura Verde e Azul. Paisagem Urbana. Revisão Sistemática. Gestão de Águas Pluviais.

ABSTRACT

In recent years, Blue-green Infrastructure (BGI), understood as an interconnected multifunctional network of green and blue elements, natural or manmade, has become established as an approach to landscape planning and design under the environmental paradigm. To investigate and systematize the methodological strategies applied to BGI planning and design, with a focus on sustainable stormwater management in urban areas, is the main goal of this research. To this end, methodologically, the research was divided into two parts: first, it seeks to investigate, from a bibliographical review, a theoretical framework on the evolution of landscape planning and design throughout the 19th and 20th centuries, in addition to discussing the conceptual bases of BGI, its principles and contributions to landscape design; second, a Bibliometric Analysis of international databases is adopted and, through a Systematic Literature Review, it is sought to identify trends in studies that address rainwater management, systematizing them as to the methods, techniques and tools employed. At the end, a methodological framework for BGI planning and design is presented.

Key-words: Blue-green Infrastructure. Urban Landscape. Systematic Review. Stormwater Management.

À minha mãe, por seu apoio incondicional em cada passo desta jornada. Sem você, este caminho seria muito mais árduo.

AGRADECIMENTOS

A chegada ao fim desta dissertação apenas foi possível graças ao apoio de inúmeras pessoas que acompanharam cada uma das estapas desta trajetória.

Aos meus pais, Maria e Vitório, pelo amor que sempre foi meu alicerce. À toda minha família, pela confiança e apoio constantes.

À minha orientadora, Marta Enokibara, pela instrução precisa e suporte intelectual. Seus ensinamentos direcionaram este trabalho e ampliaram meu olhar crítico.

Aos amigos Carlos Botelho e Karina Chiari, pelo companheirismo em todos os momentos. Nossas conversas trouxeram não apenas leveza, mas também forças para seguir adiante nos períodos mais complexos.

Aos demais colegas de mestrado, com quem dividi descobertas, desafios e a singular experiência de aprender juntos.

Aos professores e servidores do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAAC – Unesp, pela dedicação incansável. Seu trabalho silencioso e profissionalismo contribuíram diretamente para meu crescimento acadêmico.

Aos professores Norma Constantino e Paulo Pellegrino, pelas valiosas contribuições durante o exame de qualificação. Seus conselhos ajudaram a ajustar o rumo desta pesquisa.

A cada um de vocês, expresso meu profundo e permanente agradecimento.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

É tempo de transformar o que tem sido um apego romântico aos ornamentos da natureza em um compromisso de reformular a cidade em harmonia com o funcionamento da natureza. O conhecimento desses processos e aplicação de novas tecnologias podem fornecer os meios.

Anne Spirn, *The Granite Garden*, 1984 (tradução livre).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Plano de Olmsted para o *Emerald Necklace* de Boston. 24

Figura 2: Diagrama modelo para a Cidade Jardim. 25

Figura 3: Diagrama constelação de Cidades Jardins. 26

Figura 4: Perfil de Vale de Patrick Geddes. 28

Figura 5: Cartografias dos processos físicos e biológicos de Staten Island. 33

Figura 6: Cartografias com valores do estudo de Staten Island reconstituídos. 34

Figura 7: Mapas de Aptidões de Staten Island. 35

Figura 8: Ilustração mosaico de uma paisagem. 38

Figura 9: Padrões indispensáveis no planejamento da paisagem. 39

Figura 10: Rede de Infraestrutura Verde. Sistema hubs-links-sites. 46

Figura 11: Exemplo jardim de chuva. 63

Figura 12: Esquema jardim de chuva. 63

Figura 13: Canteiro pluvial esquemático. 64

Figura 14: Exemplo e esquema de uma biovaleta. 65

Figura 15: Lagoa Pluvial em Seatle. 66

Figura 16: Exemplo de Lagoa Pluvial. 66

Figura 17: Procedimento metodológico para a seleção de artigos para o estudo. 70

Figura 18: Número de publicações sobre IVA encontradas por ano. 71

Figura 19: Distribuição geográfica das publicações em IVA. 72

Figura 20: Rede de co-ocorrência de palavras-chave. 73

Figura 21: Periódicos com maior número de publicações sobre IVA. 74

Figura 22: Resultado da análise de sintaxe espacial. 85

Figura 23: Mapa de preferências espacial para conservação e desenvolvimento em Hojobul. 88

Figura 24: Mapas de inundação gerados. 91

Figura 25: Resultados obtidos com a ferramenta *CityCAT*. 92

Figura 26: Resultados obtidos com a ferramenta UrbanBEATS. 93

Figura 27: Mapas resultantes do SSANTO. 95

Figura 28: Visualizações de modelos no R-WIM. 95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Elementos chave da infraestrutura verde. 46

Quadro 2: Os Princípios da Infraestrutura Verde. 50

Quadro 3: Princípios de Planejamento de Infraestrutura Verde. 51

Quadro 4: Categorias de Serviços Ecossistêmicos. 53

Quadro 5: Exemplos de serviços ecossistêmicos relacionados às funções abióticas, bióticas e culturais/da paisagem na Infraestrutura Verde Urbana. 54

Quadro 6: Paradigmas Históricos de Manejo de Recursos Hídricos Urbanos. 55

Quadro 7: Abordagens Metodológicas para o Planejamento de IVA identificadas nos 31 artigos do *corpus* de análise. 100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos dispositivos de Infraestrutura Verde e Azul. 62

Tabela 2: Síntese do Corpus de Análise. 83

Tabela 3: Síntese de dados, aplicações e resultados das ferramentas de análise espacial identificadas na RSL. 86

Tabela 4: Síntese de dados, aplicações e resultados das ferramentas de modelagem computacional identificadas na RSL. 96

Tabela 5: Síntese das Ferramentas e suas Aplicações. 97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	*Analytic Hierarchy Process*
BMP	*Best Management Practices*
CityCAT	*City Catchment Analysis Tool*
CT	*Compensatory Techniques*
GIS	*Geographical Information System*
IA	Infraestrutura Azul
IUCN	*International Union for Conservation of Nature*
IV	Infraestrutura Verde
IVA	Infraestrutura Verde e Azul
LID	*Low Impact Development*
MCDA	*Multi-Criteria Decision Analysis*
MODCEL	Modelo de Células de Escoamento
MUSIC	*Model for Urban Stormwater Improvement Conceptualisation*
ONU	Organização das Nações Unidas
PSS	*Planning Support Systems*
PSTLIO	*Planning Support Tool for Layout Optimization*
RPAA	*Regional Planning Association of America*
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
R-WIM	*Rainwater Information Management*
SbN	Soluções baseadas na Natureza
SSANTO	*Spatial Suitability Analysis Tool*
SUDS	*Sustainable Urban Drainage Systems*
TOPSIS	*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*
UE	União Europeia
WMRT	Wallace McHarg Roberts & Todd
WoS	*Web of Science*
WSC Toolkit	*Water Sensitive Cities Toolkit*
WSUD	*Water Sensitive Urban Design*

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 16
OBJETIVOS 17
Objetivo Geral 17
Objetivos Específicos 17
MATERIAIS E MÉTODOS 18
ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS DO DA DISSERTAÇÃO 19
CAPÍTULO 01 – O PLANEJAMENTO E O PROJETO DA PAISAGEM 21
1.1 A ARQUITETURA DA PAISAGEM E O DESENHO DO ESPAÇO LIVRE 22
1.2 O SURGIMENTO DO PLANEJAMENTO REGIONAL 27
1.3 PLANEJAMENTO ECOLÓGICO: PLANEJANDO A REGIÃO A PARTIR DA PAISAGEM 30
1.4 A ECOLOGIA DA PAISAGEM 35
1.5 O MOVIMENTO DOS CORREDORES VERDES NOS ESTADOS UNIDOS 40
CAPÍTULO 02 – INFRAESTRUTURA VERDE: ARTICULAÇÃO CIDADE-NATUREZA NO DESENHO DA PAISAGEM 43
2.1 ORIGENS DA INFRAESTRUTURA VERDE: UMA COALESCÊNCIA DE DISCIPLINAS 43
2.2 DEFINIÇÕES DA INFRAESTRUTURA VERDE 47
2.2.1 Princípios da Infraestrutura Verde 50
2.2.2 Multifuncionalidade da Infraestrutura Verde e os Serviços Ecossistêmicos 53
2.2.3 O papel da água na Infraestrutura Verde Urbana 55
2.3 INFRAESTRUTURA VERDE E AZUL 57
2.3.1 As Soluções Baseadas na Natureza 59
2.3.2 Dispositivos de Infraestrutura Verde e Azul na estruturação da paisagem urbana 61
CAPÍTULO 03 – APLICABILIDADE DA INFRAESTRUTURA VERDE E AZUL NO MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAS 67
3.1 METODOLOGIA 67
3.2 MACROTENDÊNCIAS IDENTIFICADAS 70
3.3 DESAFIOS À IMPLEMENTAÇÃO DE IVA 75

3.4 METODOLOGIAS PARA O PLANEJAMENTO E O PROJETO DE IVA 77
3.4.1 Escalas de Aplicação 78
3.4.2 Abordagens Metodológicas Identificadas 80
3.5 SÍNTESE DO *CORPUS* DE ANÁLISE 82
3.6 QUADRO METODOLÓGICO DAS ESTRATÉGIAS PARA IVA 84
3.6.1 Técnicas e Ferramentas Identificadas 84
3.6.2 Construindo um Quadro Metodológico 98
CONSIDERAÇÕES FINAIS 103
REFERÊNCIAS 106
APÊNDICE A – RELAÇÃO DOS ARTIGOS INCLUÍDOS NA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA 125

INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento da população urbana ao redor do mundo impõe desafios sem precedentes ao complexo processo socioeconômico que é a urbanização. Segundo a Organização Mundial das Nações Unidas (ONU), em 2007, a população mundial se tornou mais urbana do que rural pela primeira vez na história, e em 2018, 55,3% das pessoas viviam em assentamentos urbanos, proporção que se projeta chegar a 86,6% até 2050 em regiões mais desenvolvidas (ONU, 2018).

Ano após ano, as zonas urbanas se consolidam como o lugar do ser humano (Belem, 2020) e a intensificação da urbanização geralmente tem ocasionado problemáticas como: expansão desordenada do tecido urbano; degradação ambiental; poluição; e a adoção de padrões de consumo e produção insustentáveis (ONU, 2018). Tamanha pressão exercida sobre os recursos naturais faz das cidades grandes agentes destruidores de ecossistemas (Rodgers, 2001). Ainda, as mudanças climáticas têm agravado gradualmente essas questões (IPCC, 2022), uma vez que a vasta maioria dos centros urbanos apresenta significativa vulnerabilidade frente aos severos impactos provocados por eventos climáticos extremos (Herzog; Rosa, 2010).

No Brasil, todas as cidades vivenciam problemáticas similares e que variam em grau e intensidade (Santos, 2002) e em meio ao contexto de obsolescência das redes de infraestruturas tradicionais (cinzas)[1] implantadas ao longo do século XX, tornou-se necessária a busca por iniciativas mais sustentáveis de projetos para as cidades (Ahern; Pellegrino; Becker, 2012), dessa forma, cada vez mais as questões ambientais se fazem presentes na vida cotidiana e pautam o debate acerca do desenvolvimento urbano sustentável (Belem, 2020; Costa; Machado, 2012).

A fim de alcançarmos equilíbrio ambiental nas cidades é essencial o planejamento de sistemas de espaços livres urbanos, uma vez que esses locais são primordiais para o ordenamento do território (Farah, 2012). Natureza e cidade não podem ser vistas como "entidades antagônicas", afirma Bonzi (2017, p. 4), e o projeto urbano em consonância com a natureza provê benefícios a toda e qualquer cidade (Spirn, 1984).

---

[1] Infraestrutura urbana convencional, monofuncional e centralizada, desconsidera particularidades biofísicas locais e os processos naturais das paisagens, e apresenta "[...] capacidade bastante limitada para lidar com os desafios da urbanização em massa [...]" (Bonzi, 2017, p. 7).

A ideia de promoção de benefícios ambientais demonstra a importância das paisagens naturais e/ou naturalizadas para a melhoria da qualidade de vida em meio urbano, emerge, portanto, a noção de que as paisagens possam desempenhar funções infraestruturais (Bonzi, 2019). Essa perspectiva tem evoluído rapidamente nas duas últimas décadas e consiste no planejamento e projeto urbano estratégico e que promova o equilíbrio ambiental nas cidades, considerando as questões da natureza do sítio paisagístico e integrando os sistemas de vegetação (verde) e de água (azul) em uma rede de espaços multifuncionais composta por áreas vegetadas ou permeáveis e conectadas por corredores verdes e azuis (Farah, 2012; Herzog, 2013).

A essa rede dá-se o nome de Infraestrutura Verde e Azul (Brears, 2018), e essa noção de sistemas de paisagem enquanto infraestruturas fundamentais para o bom funcionamento das cidades delineia o mote deste trabalho. Serão abordados, nos capítulos seguintes desta Dissertação, as relações entre a Infraestrutura Verde (IV) e a Infraestrutura Verde e Azul (IVA) com o planejamento e projeto da paisagem urbana sob o paradigma ambiental.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Mapear, investigar, sistematizar e analisar estratégias metodológicas aplicadas ao Planejamento e Projeto de Infraestrutura Verde e Azul com enfoque no manejo sustentável de águas pluviais em áreas urbanas.

Objetivos Específicos

i. Elaborar uma revisão histórica sobre as teorias de planejamento e projeto da paisagem, e o desenvolvimento da disciplina da Arquitetura da Paisagem;
ii. Discutir as bases conceituais do planejamento de Infraestrutura Verde e Infraestrutura Verde e Azul, suas definições e princípios, bem como sua contribuição para o projeto da paisagem, buscando atender demandas contemporâneas das cidades;
iii. Elaborar um quadro metodológico a fim de disponibilizar os diferentes métodos e aplicações da Infraestrutura Verde e Azul em discussão na atualidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

Metodologicamente, a pesquisa se divide em duas partes. Esta seção do trabalho trata de demonstrar o procedimento metodológico utilizado para realização de cada uma delas.

Parte I – Referencial Teórico: Planejamento da Paisagem; Infraestrutura Verde/Verde e Azul

O referencial teórico da presente pesquisa foi obtido por meio de uma revisão bibliográfica. Como escopo da referida revisão, foram definidos: as primeiras práticas de planejamento da paisagem sob a ótica da conservação ambiental, bem como os atores pioneiros da arquitetura da paisagem no desenho do espaço livre; o surgimento do planejamento regional e do planejamento ecológico estadunidense; o desenvolvimento de conceitos ecológicos ao longo do século XX e o surgimento da disciplina da ecologia da paisagem; o movimento dos corredores verdes ocorrido nos Estados Unidos nos anos 1990; e o advento da Infraestrutura Verde e da Infraestrutura Verde e Azul enquanto estratégias de planejamento e projeto da paisagem, seus princípios, fundamentos e relações com as abordagens que as deram origem. Como fontes para a pesquisa foram consultados livros clássicos sobre as referidas temáticas, repositórios institucionais de teses e dissertações, e artigos em periódicos com revisão por pares.

Parte II – Revisão Sistemática da Literatura: estratégias metodológicas para a implantação de Infraestrutura Verde e Azul

A partir do referencial teórico construído, buscou-se identificar e compilar um arcabouço de estratégias metodológicas para a aplicação prática da Infraestrutura Verde e Azul no planejamento e projeto da paisagem com foco na gestão de águas pluviais. Para tanto, adotou-se como método de pesquisa uma Revisão Sistemática da Literatura. À luz de alcançar os objetivos propostos, e ampliar o universo do estudo, adotaram-se os repositórios internacionais *Scopus* e *Web of Science* (WoS) como bases para a pesquisa. A escolha pelas referidas plataformas se deu devido à abrangência de que dispõem, e a consulta foi realizada pela palavra-chave em inglês "*blue-green infrastructure*". O

procedimento metodológico realizado nesta etapa está detalhado, integralmente, no Capítulo 03.

A análise bibliométrica foi adotada nesta etapa da pesquisa buscando identificar tendências nos estudos de caso selecionados para a revisão sistemática. As estratégias metodológicas identificadas foram sistematizadas, e um quadro metodológico para o planejamento e projeto de Infraestrutura Verde e Azul foi elaborado.

ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS DO DA DISSERTAÇÃO

Capítulo 01 – O Planejamento e o Projeto da Paisagem

O primeiro capítulo apresenta, a partir de uma revisão bibliográfica, um panorama histórico explorando a evolução das teorias e práticas de planejamento e projeto da paisagem desenvolvidas na Europa e América do Norte ao longo dos séculos XIX e XX. São abordadas desde as primeiras iniciativas voltadas à conservação ambiental tomadas em resposta à crescente urbanização e industrialização no século XIX, passando pelo surgimento do campo da Arquitetura da Paisagem, do Planejamento Regional e do Planejamento Ecológico. Por fim, seguindo os avanços ecológicos do século XX, o capítulo versa sobre o desenvolvimento da Ecologia da Paisagem e o Movimento dos Corredores Verdes nos Estados Unidos. Este capítulo atende ao objetivo específico (i).

Capítulo 02 – Infraestrutura Verde: Articulação cidade-natureza no desenho da paisagem

O segundo capítulo estabelece um referencial teórico acerca da Infraestrutura Verde (IV). Nele, são investigadas as origens da conceituação dessa abordagem, seus princípios, funções e sua evolução. Paralelamente, são abordados conceitos similares à IV, como o das Soluções baseadas na Natureza (SbN). Compreendendo que sistemas terrestres e aquáticos são igualmente essenciais na estruturação da paisagem e, enfatizando o papel da água, é abordada, por fim, a Infraestrutura Verde e Azul e sua contribuição para o desenho de paisagens urbanas multifuncionais. Este capítulo atende ao objetivo específico (ii).

Capítulo 03 – Aplicabilidade da Infraestrutura Verde e Azul no manejo de águas pluviais

O terceiro capítulo apresenta os resultados da investigação, sistematização e análise de estratégias metodológicas para a implementação de Infraestrutura Verde e Azul com foco no manejo de recursos hídricos, em especial, de águas pluviais. A Análise Bibliométrica exprime resultados quantitativos acerca das tendências identificadas nos artigos selecionados para a Revisão Sistemática da Literatura que, por sua vez, examina qualitativamente os métodos, técnicas e ferramentas empregadas no planejamento e projeto de sistemas de Infraestrutura Verde e Azul. Ao final, foi elaborado um Quadro Metodológico que sumariza as abordagens metodológicas identificadas. Este capítulo atende ao objetivo geral da pesquisa e ao objetivo específico (iii).

CAPÍTULO 01 – O PLANEJAMENTO E O PROJETO DA PAISAGEM

Esse capítulo apresenta uma jornada histórica abrangente, explorando a evolução das ideias e práticas do Planejamento da Paisagem desde o final do século XIX e ao longo do século XX na Europa e América do Norte. Cronologicamente, revela de que modo o cuidado com a conservação da natureza e a organização do território se entrelaçaram, configurando as paisagens que hoje conhecemos.

Inicialmente, são abordadas as primeiras iniciativas para conservação ambiental, que emergiram como reação à crescente industrialização e urbanização no século XIX. Retrata-se ainda o surgimento da Arquitetura da Paisagem enquanto disciplina autônoma e campo de trabalho do arquiteto e urbanista, e o seu papel no desenho dos espaços livres nas cidades. Na sequência, discorre-se sobre o surgimento do Planejamento Regional o do Planejamento Ecológico, que ganharam destaque a partir de meados do século XX, fundamentados pela compreensão da necessidade de se considerar interações entre sistemas naturais e sociais para a ordenação do território.

Seguindo os avanços nos estudos ecológicos do século XX, o capítulo versa sobre a Ecologia da Paisagem e a significativa contribuição da disciplina para o desenvolvimento de metodologias de planejamento da paisagem levando em conta a heterogeneidade espacial e as dinâmicas ecossistêmicas. Por fim, é abordado o Movimento dos Corredores Verdes nos Estados Unidos nos anos 1990, e sua importância na busca de restaurar a conectividade de elementos naturais em uma paisagem fragmentada pela urbanização.

O estudo histórico acerca do desenvolvimento do planejamento da paisagem e da Infraestrutura Verde, tal como proposto pelos capítulos 1 e 2 desta dissertação, concentra-se nas correntes europeias e estadunidenses por representarem marcos na formalização teórica dessas disciplinas no Ocidente. Contudo, faz-se necessário ressaltar que outras sociedades desenvolveram, em distintos períodos históricos, sistemas integrados de planejamento paisagístico que harmonizavam funções ecológicas, produtivas e culturais. Como, por exemplo, os sistemas de terraços agrícolas para gestão hídrica e planejamento do Império Inca, localizados no sítio arqueológico de Tipón, Peru (Wright, 2006).

A opção por ressaltar as contribuições de figuras como Frederick Law Olmsted justifica-se, não pela ausência de exemplos análogos em outras regiões, mas pelo papel central que suas ideias desempenharam na conformação da disciplina da Arquitetura da

Paisagem. O referencial teórico aqui exposto busca traçar uma cronologia específica, e não desconsiderar a pluralidade de saberes que, em distintos contextos geográficos e culturais, antecederam ou dialogam com a noção contemporânea de multifuncionalidade paisagística.

1.1 A ARQUITETURA DA PAISAGEM E O DESENHO DO ESPAÇO LIVRE

Ideais de conservação da natureza por meio de redes ecológicas[2] surgiram na segunda metade do século XIX como reação à Revolução Industrial (Jongman, 2004), momento em que o acelerado progresso social, econômico e tecnológico impactou significativamente de modo negativo a natureza e a paisagem (Ribeira; Meneguetti, 2021). A partir daquele período, até os anos 1950, a emergência pela conservação e proteção da vida selvagem e dos recursos naturais, foi pautada pela crescente preocupação com o meio ambiente e o modo como as comunidades o habitavam (Selanon, 2019). Também se estabeleceram, ainda que rudimentarmente, os primeiros fundamentos para o planejamento ecológico (Meneguetti, 2007), através do trabalho de estudiosos conservacionistas visionários.

Em 1847, o geógrafo estadunidense George Perkins Marsh (1801-1882) destacou, durante palestra na Sociedade Agrícola do Condado de Rutland, em Vermont, o impacto destrutivo da atividade humana na terra, em especial pelo desmatamento, e clamou por uma abordagem conservacionista para a gestão de áreas florestadas (Benedict; McMahon, 2006). Anos mais tarde, em 1864, ecoando esse discurso, Marsh publicou "*Man and Nature"*. O livro, clássico instantâneo, foi revisado e reimpresso diversas vezes, revolucionando o modo como as pessoas enxergavam suas relações com o ambiente (Lowenthal, 2000).

Contemporaneamente a Marsh, Henry David Thoreau (1817-1862), naturalista e autor estadunidense, escrevia sobre a importância de se preservar porções de natureza e mantê-las intactas. Suas ideias, transcritas para o projeto urbano, ecoavam que todas as cidades deveriam possuir ao menos um parque (Benedict; McMahon, 2006). Para Thoreau

[2] Estrutura de componentes ecológicos interconectados e que fornecem aos ecossistemas as condições necessárias para sobreviver em uma paisagem dominada pelo homem (Jongman; Pungetti, 2004).

(1859), a natureza era uma “panaceia”, isto é, um mecanismo capaz de, hipoteticamente, solucionar todos os males.

Naquele período, observou-se, então, uma primeira interação entre paisagem e planejamento urbano, onde a natureza e o “verde” foram inseridos nos espaços livres da cidade industrial, visando reaproximar as comunidades urbanas ao campo (Jongman, 2004; Ragonha; Schenk, 2022). Pioneiro arquiteto paisagista dos Estados Unidos, Frederick Law Olmsted (1822-1903), institucionalizou, na segunda metade do século XIX, as bases do que se compreenderia como Arquitetura da Paisagem (Schenk, 2022a). Olmsted concordava com a visão de Thoreau e, reverberando seu discurso, incorporou parques em seus planos para diversas cidades estadunidenses (Benedict; McMahon, 2006).

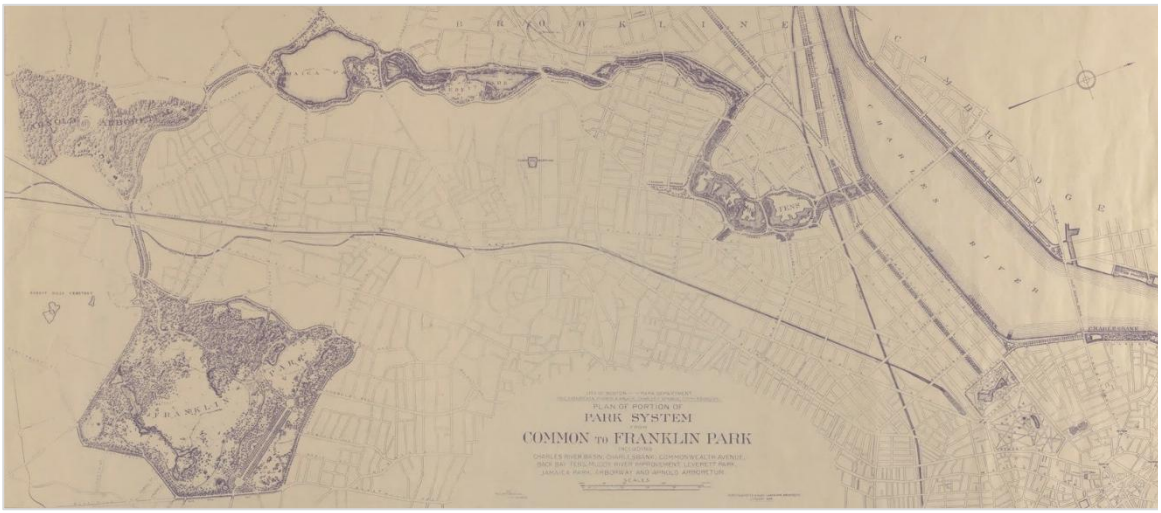
Esse entendimento de Olmsted, a respeito da importância dos parques no planejamento das cidades, se consolidaria após sua viagem a Inglaterra, em 1850, onde visitou o Parque Birkendhead, projetado, em 1843, por Joseph Paxton (1803-1865) nos arredores de Liverpool (Constantino, 2022; Schenk, 2022a). Em sua visita ao parque, Olmsted se impressionou com a escala do espaço e sua completa imersão no tecido urbano, com o modo que as pessoas usufruíam do local e com as técnicas de irrigação e drenagem empregadas, características essas que seriam incorporadas, em 1858, em seu projeto para o Central Park, em Nova York (Constantino, 2022). A respeito do espaço, Olmsted (1859) enfatizou a fusão harmoniosa entre arte e natureza para criar beleza, e destacou que nada nos EUA era sequer comparável a aquele jardim. A partir de então, consolidou-se em seus escritos a ideia da utilização dos parques para além das infraestruturas de drenagem, mas também como agente de promoção de encontro entre população e natureza “[...] em sua dimensão estética e cultural, bem como o contato com seu espectro de saúde, física e mental.” (Schenk, 2022a, p. 134).

Frente aos impactos antrópicos na cidade industrial, onde áreas naturais e seminaturais foram convertidas em terras agrícolas, acarretando a fragmentação do ambiente, dificultando os fluxos naturais na paisagem (Jongman, 2004) e consequente perda de conectividade, Olmsted concluiu que nenhum parque, sozinho, independentemente do quão grande ou bem projetado ele fosse, seria capaz de prover às comunidades todos os benefícios inerentes ao contato com a natureza (Benedict; McMahon, 2006). Surgiu então, ao final do século XIX, a ideia de sistemas de parques, em

especial a partir de seu trabalho no projeto do *Emerald Necklace* de Boston, em 1887 (Tardin, 2008).

Projetado para conectar uma série de parques por vias-verdes[3] (ou avenidas-parques) na cidade de Boston, o *Emerald Necklace* (Fig. 1) é reconhecidamente "[...] um modelo de integração de áreas existentes protegidas, corredores ecológicos, e elementos lineares construídos [...]" (Ahern, 2004, p. 49, tradução nossa). Dentre as funções atuais desse sistema destacam-se a recreação, o transporte, o controle de qualidade da água e de inundações, além de ser habitat de vida selvagem (Ahern, 2004). A partir de seu projeto e construção, uma nova ferramenta urbanística tomou forma, voltada diretamente a adaptar a paisagem natural no interior das cidades. Esse sistema de parques uniu a estrutura urbana ao projeto da paisagem (Jiménez; de las Rivas, 2018).

Figura 1: Plano de Olmsted para o *Emerald Necklace* de Boston.



Fonte: Boston Public Library (1894).

Além dos parques urbanos ingleses, outra prática de planejamento europeia influenciou o trabalho de Olmsted nos Estados Unidos. Foi o plano de Georges-Eugène Haussmann (1809-1891) para Paris (Costa; Farah; Boucinhas, 2007) que, durante sua gestão enquanto prefeito da cidade, entre 1853 e 1870, concebeu pela primeira vez um sistema hierarquizado de espaços livres (Farah, 2012).

O plano de Haussmann para Paris, que contava com projeto do engenheiro Adolphe Alphand (1817-1891), definia quatro categorias para os espaços livres da cidade: os

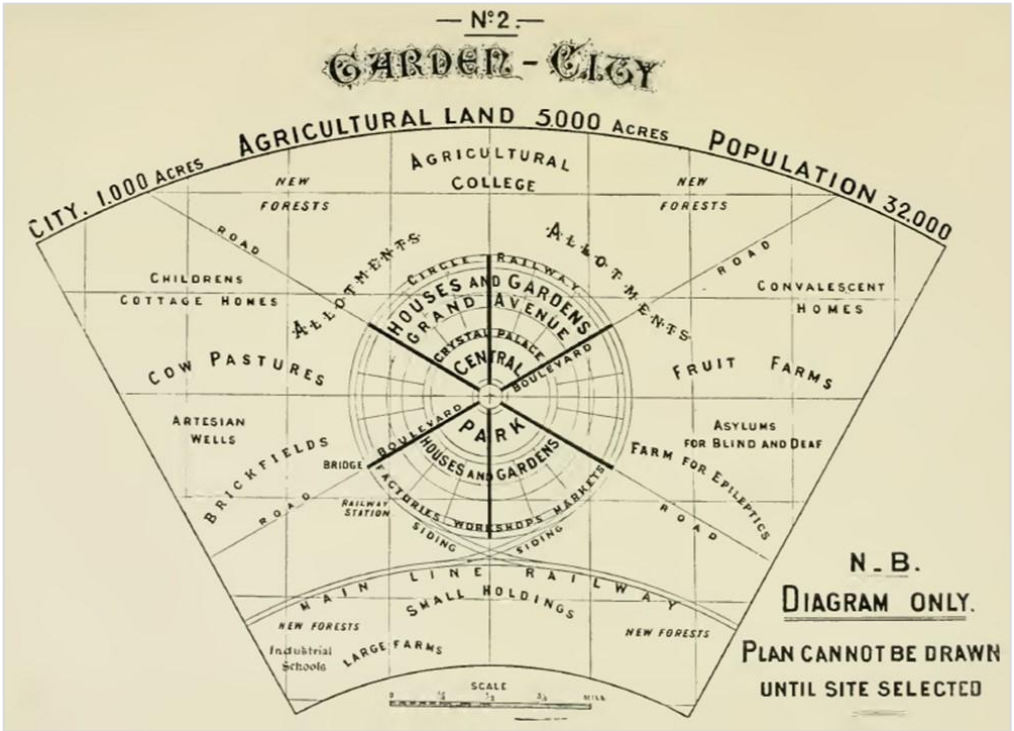
[3] *Parkways*, rotas arborizadas entre os parques com função estética, recreacional e de conexão (Jongman, 2004).

boulevards[4]*,* as praças, os parques e os bosques, e tinha como objetivo tornar Paris a capital da modernidade (Farah, 2012; Ragonha; Schenk, 2022). Com a presença de árvores ao longo das vias, os *boulevards* transformaram a malha urbana parisiense, imprimindo um caráter distintivo e assegurando um papel de destaque para a natureza na cidade (Farah, 2012).

Já no início do século XX, o arquiteto paisagista Jean-Claude Nicolas Forestier (1861-1930) contribuiu para a ampliação do sistema de espaços livres parisiense. Influenciado pelo próprio Alphand, pelo sistema de parques estadunidense, além de modelos ingleses, Forestier defendia que esse sistema não fosse apenas ferramenta complementar ao plano da cidade, e sim constituído simultaneamente a ele (Farah, 2012; Ragonha; Schenk, 2022).

Contemporaneamente aos sistemas de parques nos Estados Unidos e ao sistema de espaços livres em Paris, na Inglaterra, em 1898, Ebenezer Howard (1850-1928) desenvolveu o conceito de *greenbelts*, ou cinturões verdes, pensados como agentes reguladores do espraiamento de Londres e outras comunidades em processo de urbanização no país (Jongman, 2004). Em 1902, Howard propôs a ideia de *Garden City,* a Cidade Jardim (Fig. 2), buscando integrar cidade e natureza (Spirn, 1984).

Figura 2: Diagrama modelo para a Cidade Jardim.

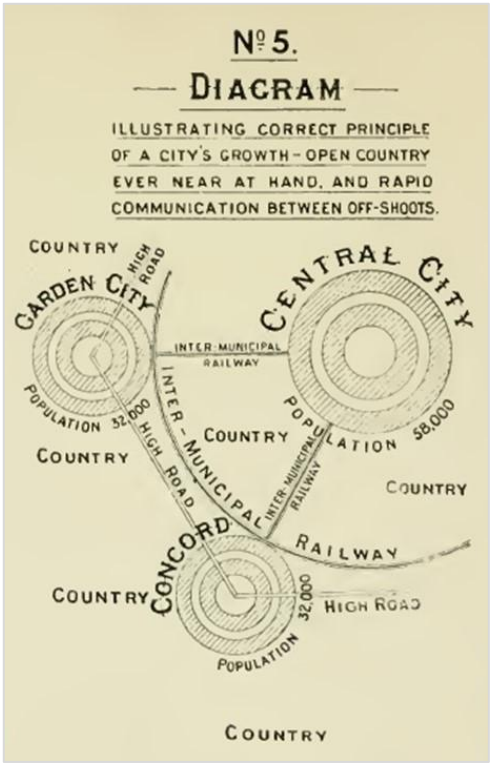


Fonte: Howard (1902, p. 23).

[4] Moderna via larga, com amplas calçadas ou vielas plantadas com árvores regularmente dispostas (Forestier, 1908, p. 22, tradução nossa).

A cidade jardim Howardiana era pensada como local onde residências seriam integradas ao comércio e indústria, jardins e fazendas, circundadas por um cinturão verde e com população limitada a cerca de 30 mil habitantes (Hall, 2016; Spirn, 1984). Para Howard, cada cidade jardim integraria uma constelação de cidades (Fig. 3) com expansão planejada (Hall, 2016; Spirn, 1984) e conectadas por uma ferrovia circular intermunicipal capaz de ligar as cidades do anel exterior à cidade central (Howard, 1902).

Figura 3: Diagrama constelação de Cidades Jardins.



Fonte: Howard (1902, p. 143).

O modelo de Howard previa a constituição de cidades autogovernadas. Mais do que instrumentos de planejamento físico, as cidades jardins eram tidas como "[...] veículos para a reconstrução progressiva da sociedade capitalista dentro de uma infinidade de comunidades cooperativas" (Hall, 2016, p. 121). Embora a população nessas cidades fosse limitada, não se tratavam, todavia, de comunidades pensadas para baixa densidade (Hall, 2016), efetivamente, Howard (1902) considerava a expansão em aglomerados de cidades próximas, mas que mantinham o cinturão verde entre elas intacto.

Cidades jardins foram construídas, segundo Spirn (1984), tanto na Inglaterra (Welwyn e Letchworth) quanto nos Estados Unidos (Greenbelt, em Maryland e Radburn, em Nova Jersey). Howard (1902), ao considerar o contexto da região na conceituação de seu

modelo, efetivamente influenciou, em grande parte, o surgimento das primeiras práticas de Planejamento Regional estadunidenses (Hall, 2016).

1.2 O SURGIMENTO DO PLANEJAMENTO REGIONAL

As duas primeiras décadas do século XX foram marcadas pela experimentação com metodologias de planejamento em larga escala (Benedict; McMahon, 2006), e o conceito de "regionalismo" floresceu entre os anos 1920 e 1930, impulsionado por um pequeno grupo de intelectuais que fundou, em 1923, em Nova York, a *Regional Planning Association of America* (RPAA) (Steiner, 1983), cujos ideais se baseavam, em grande parte, nas noções relacionadas à cidade jardim e à paisagem (Hall, 2016; Ragonha; Schenk, 2022). Dentre os fundadores da RPAA, estavam o engenheiro florestal e conservacionista estadunidense Benton MacKaye (1879-1975) e o jornalista-sociólogo, também estadunidense, Lewis Mumford (1895-1990) (Steiner, 1983). Mumford, que viria a ganhar fama mundial como urbanista e crítico social (Friedmann; Weaver, 1979), foi responsável por transmitir a filosofia de Patrick Geddes (1854-1932) a esse grupo de planejadores que, fundida às ideias cívicas de Howard, serviu como fundamento intelectual para o grupo, e, posteriormente, foi difundida pela América e pelo mundo (Friedmann; Weaver, 1979; Hall, 2016).

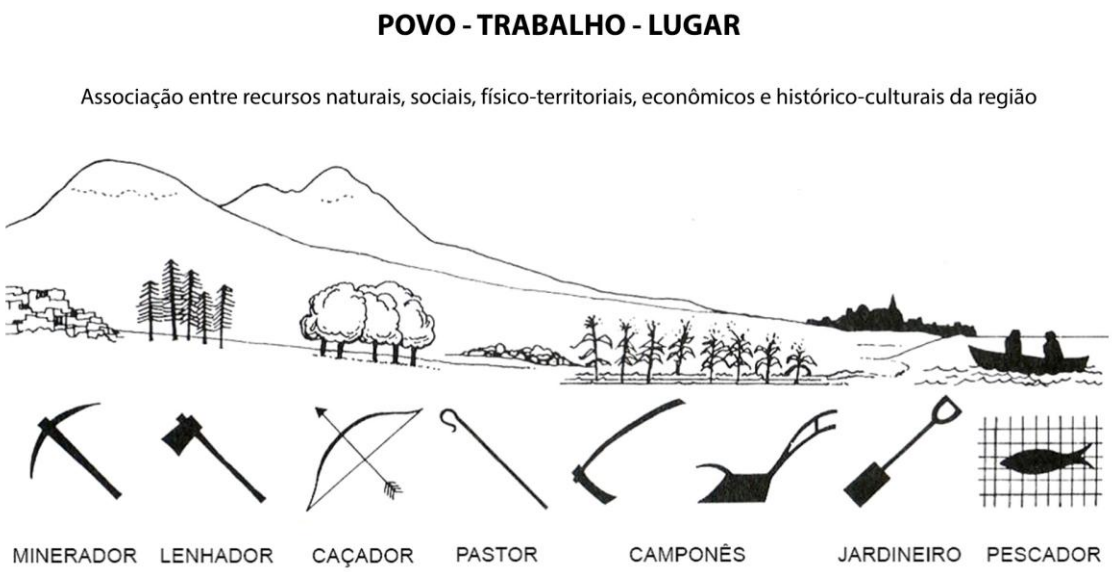
Para Hall (2016), se a cidade jardim fora inglesa, a cidade regional foi estadunidense, vinda da França e através da Escócia. Isso porque o planejamento regional nasceu com Geddes, biólogo escocês, que extraíra suas ideias centrais dos pioneiros geógrafos franceses, Élisée Reclus (1830-1905) e Paul Vidal de la Blache (1845-1918), e do sociólogo, também francês, Frédéric Le Play (1806-1882).

> Desses pioneiros, Geddes extraiu seu conceito de região natural, como exemplificado pela famosa seção de vale, que ele baseou nas ideias de Reclus. E importa notar que, como eles, preferiu estudar a região em sua forma mais pura, longe da sombra da metrópole-gigante (Hall, 2016, p. 192).

Geddes identificou o potencial de se integrar a cidade à sua região por meio de vínculos entre o urbano e o rural, formulando assim o conceito original de cidade-região (Hortencio, 2015), e defendeu que o planejamento deveria iniciar "[...] com o levantamento dos recursos de uma determinada região natural, das respostas que o homem dá a ela e das complexidades resultantes da paisagem cultural [...]" (Hall, 2016, p. 192). A ênfase do

trabalho de Geddes foi no método de levantamento. O perfil (ou seção) de vale (Fig. 4) era a essência de seu esquema regional, e apresentava, graficamente, por meio de cortes transversais, os recursos ambientais e da geografia de um território, associando-os ao potencial de ocupação do solo e de desenvolvimento regional (Hall, 2016; Ragonha; Schenk, 2022).

Figura 4: Perfil de Vale de Patrick Geddes.



Fonte: Ragonha; Schenk (2022, p. 7).

O estudo regional, segundo Hall (2016), possibilitava a compreensão de um "ambiente vivo e vivenciado", isto é, o entendimento do ambiente em que os seres humanos habitam e de que forma o fazem. Como a cidade exerce uma influência decisiva na transformação do território, o planejamento deve incluir uma análise prévia abrangente dos recursos naturais e assentamentos humanos, considerando suas demandas econômicas e sociais (Geddes, 1968). Dessa forma, o planejamento regional preocupa-se com a organização de atividades e instalações em uma escala maior que uma única comunidade (Perloff, 1985).

Nesse sentido, para a RPAA, o planejamento regional era "[...] um método que poderia ser utilizado para conter o crescimento metropolitano e reestabelecer o que eles chamaram de equilíbrio regional" (Friedmann; Weaver, 1979, p. 32, tradução nossa). Era uma tentativa de, através do planejamento físico de larga escala, melhorar a qualidade de vida de comunidades regionais (Friedmann; Weaver, 1979). Nesse contexto, de um ponto

de vista de ordenamento do território, Mumford elaborou a definição de Planejamento Regional:

> Planejamento regional é a direção consciente e integração coletiva de todas aquelas atividades que se colocam sobre o uso da terra como local, como recurso, como estrutura, como cenário. Na medida em que tais atividades são focadas dentro de regiões definidas, conscientemente delimitadas e utilizadas, as oportunidades para coordenação aumentam. Consequentemente planejamento regional é um estágio mais avançado de processos mais especializados ou isolados de planejamento rural, planejamento industrial, ou planejamento urbano (Friedmann; Weaver, 1979, p. 33, tradução nossa).

Outro integrante da RPAA que teve ampla relevância na definição das teorias acerca do planejamento regional foi Benton MacKaye que, preocupado com a qualidade de vida nas cidades (Bower, 1963), e influenciado pelo conceito de sistemas de parques de Olmsted e pela cidade jardim de Howard, publicou, em 1928, o livro "*The New Exploration"*, obra onde concebeu, pela primeira vez, a ideia de um sistema metropolitano integrador de áreas protegidas pensado para o controle do espraiamento urbano (Ahern, 2004; Bower, 1963).

Fundamentalmente, Mackaye definiu o planejamento regional como a visualização do potencial de três processos: "1) a conservação de recursos naturais; 2) o controle do fluxo de *comodities*, e 3) o desenvolvimento do ambiente" (Bower, 1963, p. 371, tradução nossa) e, em 1940, já ligava, explicitamente, o planejamento regional à ecologia (Steiner, 1983).

Esse período, entre os anos 1930 e 1950, foi marcado pelo desenvolvimento de diversos conceitos que seriam empregados, sistematicamente, no planejamento ecológico sessentista. Destacavam-se: princípios éticos no uso da terra, conexão entre projeto e ecologia, e a preservação da natureza em seu estado natural (Benedict; McMahon, 2006).

O conceito de "ética no uso da terra" foi introduzido, em 1933, pelo conservacionista estadunidense Aldo Leopold (1887-1948), que argumentava "se nosso atual ímpeto evolutivo for ascendente, é ecologicamente provável que a ética eventualmente se estenderá à terra [...]" (Leopold, 1933, p. 634, apud Steiner, 1983, p. 298, tradução nossa). Leopold advogava por uma filosofia que "[...] entendesse os limites da comunidade biótica, da qual as pessoas eram parte integrante, incluindo solos, água, vegetação e animais [...]" (Meneguetti, 2007, p. 29). Posteriormente, em 1940, na publicação "*Regional planning and ecology"*, Mackaye concluiu que "planejamento regional

é ecologia" (Steiner, 1983, p. 298). A partir de então, nos anos 1940, se iniciaram as primeiras tentativas de se planejar com as bacias hidrográficas, muito embora esse planejamento fosse ainda restrito apenas à gestão dos recursos hídricos (Belem, 2020).

1.3 PLANEJAMENTO ECOLÓGICO: PLANEJANDO A REGIÃO A PARTIR DA PAISAGEM

No campo da arquitetura da paisagem, os anos 1960 foram marcados pelo movimento do Planejamento Ecológico (Ahern, 2004). Nessa "década do ambientalismo" observou-se um crescente interesse das pessoas perante a conservação e o uso da terra, catalisado pela compreensão geral dos impactos nocivos infligidos pelo homem ao meio ambiente (Benedict; McMahon, 2006).

Essa preocupação ambiental foi disseminada, incialmente, pela publicação do livro "*Silent Spring"* de Rachel Carson (1907-1964) em 1962 (Spirn, 2000). Bióloga marinha e escritora estadunidense, em "Primavera Silenciosa", Carson alertou o público nos Estados Unidos, e no mundo, sobre os efeitos prejudiciais do uso de pesticidas, tanto sobre a vida animal quanto no bem-estar humano, contribuindo para a florescente consciência ambiental, em especial na América do Norte e na Europa (Selanon, 2019). Começara, então, a denominada "Revolução Ambiental" (McHarg, 1992).

O ano de 1962 foi marcado também pela primeira vez em que o arquiteto-paisagista escocês Ian McHarg (1920-2001) lecionou, na Universidade da Pensilvânia (UPenn), um curso acompanhado de um ecologista (Selanon, 2019; Spirn, 2000). Sua formação dupla em arquitetura da paisagem e em planejamento urbano, pela Universidade de Harvard, nos anos 1940, permitiu a McHarg abranger uma diversidade de escalas de planejamento e projeto, influenciando, assim, seu desenvolvimento teórico e prático de planejamento ecológico (Spirn, 2000; Yang; Li, 2016). Ainda em 1962, fundou o escritório Wallace McHarg Associates[5], em parceria com o arquiteto e planejador urbano David Wallace (1917-2004), seu colega de Harvard (Spirn, 2000). A partir de então, o ambientalismo esteve totalmente integrado em seu trabalho e, as lições aprendidas na prática, com situações e projetos reais, moldaram e refinaram sua prática acadêmica (Spirn, 1998, 2000).

[5] Em 1963, o arquiteto paisagista William Roberts (1932-2023) e o arquiteto Thomas Todd (1928-2018) integraram essa sociedade, e o escritório passou a se chamar Wallace McHarg Roberts & Todd (WMRT). O Escritório atuou de 1963 a 1979 (The Cultural Landscape Foundation, [*s. d.*]).

Ao longo das décadas de 60 e 70, McHarg, enquanto professor na UPenn, buscou integrar o planejamento regional e a arquitetura da paisagem (Yang; Li, 2016). Influenciado pelos princípios de Mumford e da RPAA, compreendeu a necessidade de se considerar tanto os aspectos naturais quanto os sociais no processo de planejamento (Ragonha, 2019), e definiu o planejamento ecológico como uma abordagem que compreendia a região enquanto um processo biofísico e social, guiado por leis e pelo tempo, com oportunidades e restrições claras para usos humanos e que, a partir de um levantamento minucioso, identificava as localizações e processos mais adequados (McHarg, 1997). A partir de então, adotou uma abordagem pedagógica holística, incorporando o ambientalismo ao ensino de projeto, enfatizando a compreensão de processos naturais (Spirn, 2000; Yang; Li, 2016). Desenvolveu e lecionou a disciplina "*Man and Environment"*, onde abordava a dependência fisiológica e psicológica do homem perante a natureza, e apresentava sua visão ecológica (McHarg, 1992).

A experiência acadêmica de McHarg na UPenn e sua prática profissional junto ao WMRT culminaram na publicação, em 1969, do livro "*Design with Nature"* (McHarg, 1992). Defendendo a aplicação sistematizada de uma série de regras derivadas de princípios ecológicos, e evidenciando sua importância em projetos profissionais, com essa obra, McHarg estimulou mudanças significativas no ensino e na prática projetual de arquitetura da paisagem (Spirn, 1998). Notadamente, suas teorias de planejamento ecológico representaram um marco na história do planejamento da paisagem (Daniels, 2019). Seu método respeitava, integrava e facilitava múltiplos processos, funções e serviços ecossistêmicos, com ênfase na interação entre natureza e ambiente construído (Daniels, 2019; Yang; Li, 2016).

Enquanto método, McHarg introduziu o modelo *"layer cake"* (McHarg, 1981, 1997; Spirn, 2000), "bolo de camadas" (tradução literal). Esse modelo apresentava camadas separadas de informações sobre processos bióticos e abióticos de uma região, fornecidas pela geologia, fisiografia, hidrologia, climatologia, entre outras ciências (Daniels, 2019; Steiner, 2006) e que, quando mapeadas e sobrepostas, configuravam um inventário ecológico capaz de propiciar uma compreensão sistemática das relações de distintos aspectos do meio ambiente e dos processos naturais (McHarg, 1966, 1968; Spirn, 2000; Yang; Li, 2016). Ciências sociais, como por exemplo economia, sociologia, e antropologia, também deveriam ser incluídas na elaboração desse inventário (McHarg, 1997). Essas

informações eram então interpretadas por um sistema de valores e ofereciam oportunidades e restrições para o uso da terra, baseando-se no inventário de processos físicos, biológicos e culturais (McHarg, 1968, 1992).

> Uma vez aceito que o lugar é a soma de processos naturais e que esses processos constituem valores sociais, inferências podem ser tiradas sobre a utilização para assegurar uso otimizado e o aprimoramento de valores sociais. Essa é a aptidão intrínseca (McHarg, 1992, p. 104, tradução nossa).

Para McHarg (1992), as informações ecológicas eram determinantes para se estabelecer o modo de uso mais adequado para cada área da região estudada. Dessa forma, essas "determinantes ecológicas" se colocavam como parâmetros participantes no processo de planejamento (McHarg, 1966). Os resultados desses estudos eram conjuntos de cartografias que demonstravam, detalhadamente, a leitura da região e indicavam suas as aptidões (*suitability*) para cada tipo de uso do solo (Daniels, 2019; McHarg, 1992; Meneguetti, 2007; Selanon, 2019; Yang; Li, 2016).

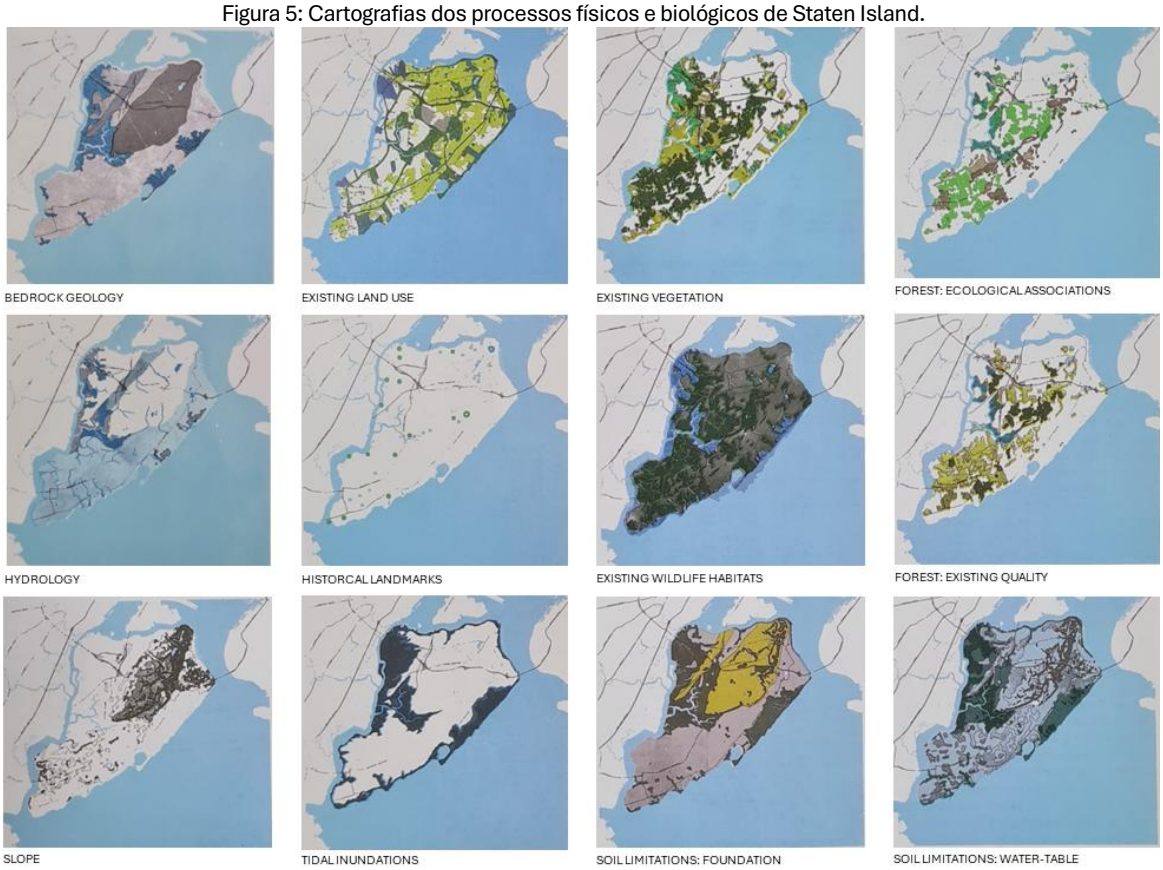
McHarg colocou seu método de planejamento ecológico em prática debruçando-se sobre distintos projetos, em múltiplas escalas, desde estudos completos de regiões em sua totalidade na escala de bacias hidrográficas, a porções de cidades, até levantamentos para construções de parques de bairros (Spirn, 1998). Muitos desses exemplos são apresentados em *Design with Nature* e, dentre esses, o **Estudo para Staten Island** (Condado de Richmond, Nova York, Estados Unidos), realizado em meados da década de 1960, é um dos mais elaborados (McHarg, 1992).

Staten Island é um dos cinco *boroughs* (distritos) que conformam a cidade de Nova York e, diferentemente de Manhattan, centro mais urbanizado e densamente povoado, a ilha no Condado de Richmond resistira, até então, ao processo de urbanização predatória, mantendo certa qualidade enquanto paraíso bucólico na porção mais meridional da cidade. Entretanto, em um contexto pós Segunda Guerra Mundial, a especulação imobiliária a ameaçava e a construção, em 1964, da Ponte Verazzano, ligando Staten Island ao Brooklyn, na península de Long Island, poderia representar a destruição do local (McHarg, 1992).

Dessa forma, de modo a guiar um planejamento ecológico para a ilha, o Departamento de Parques da cidade de Nova York comissionou o escritório WMRT que, sob direção de McHarg, elaborou um estudo a fim de identificar alternativas para o futuro do local (McHarg, 1992).

Compreendendo a natureza como “processo e valor”, o estudo partiu da identificação dos principais processos físicos e biológicos que conformaram o local. Todos os dados brutos levantados, acerca de clima, geologia histórica, geologia superficial, fisiografia, hidrologia, ecologia vegetal, habitat selvagem e uso do solo, foram compilados, mapeados, e dispostos por meio de cartografias (Fig. 5) em camadas distintas (McHarg, 1992).

Figura 5: Cartografias dos processos físicos e biológicos de Staten Island.



Legenda da esquerda para a direita: Geologia Rochosa; Uso do solo existente; Vegetação existente; Floresta: associações ecológicas; Hidrologia; Marcos históricos; Habitats de vida selvagem existentes; Floresta: qualidade existente; Declive; Inundações de maré; Limitações do solo: fundação; Limitações do solo: lençol freático. Fonte: McHarg (1992, p. 105–107, tradução nossa).

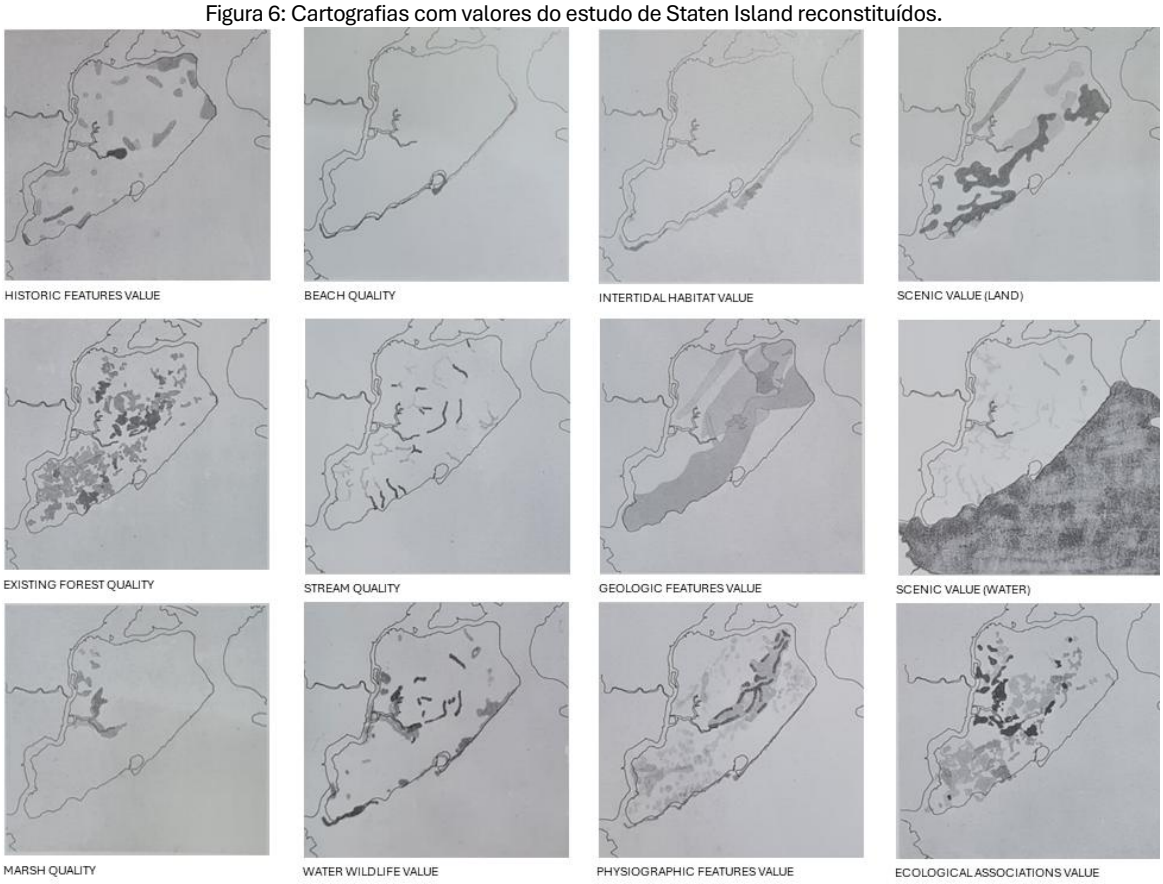
Todavia, segundo McHarg, os dados brutos são poucos úteis ao processo de planejamento antes de serem trabalhados, dessa forma, precisam ser “[...] interpretados e reconstituídos dentro de um sistema de valores [...]” (McHarg, 1992, p. 105, tradução nossa). O autor exemplifica:

> De cada uma das principais categorias de dados, uma série de fatores são selecionados e avaliados. Da geologia, nós identificamos componentes de valor geológico, científico e educacional, e os classificamos de únicos a abundantes; rochas são avaliadas por sua resistência a compressão, e ranqueadas quanto a condições de fundação, e assim por

> diante. Para certos tipos de usos de solo, a condição máxima será preferível, para outros, será o mínimo que terá o maior valor. A menor inundação de maré é preferível, mas mais qualidade cênica tem o maior valor (McHarg, 1992, p. 107, tradução nossa).

Posteriormente, os processos e fatores avaliados foram reconstituídos como valores e mapeados em tons de cinza. Todos os mapas nessa etapa foram elaborados em lâminas de transparências em escala de cinza (Fig. 6), e indicam a aptidão de uso do solo para conservação, recreação e urbanização (McHarg, 1992).

Figura 6: Cartografias com valores do estudo de Staten Island reconstituídos.



Legenda da esquerda para a direita: Valores de características históricas; Valores de habitat entre marés; Valor cênico (terra); Qualidade de floresta existente; Qualidade de córregos; Valores de características geológicas; Valor cênico (água); Valor de pântano; Valor de habitat aquático; Valores de características fisiográficas; Valores de associações ecológicas. Fonte: McHarg (1992, p. 110 e 111, tradução nossa).

As cartografias elaboradas representam avaliações dentro de categorias apropriadas, classificadas em cinco divisões de valores, onde o tom mais escuro de cinza indica o valor mais alto, e o valor mais baixo foi deixado em branco. Agrupadas por tipo de uso do solo possível, as lâminas foram sobrepostas e fotografadas, aplicando o método "*layer cake*". O resultado dessas fotografias traduz a soma de todos os valores aplicados, e demonstram o grau de aptidão para cada tipo de uso do solo, do mais ao menos adequado (McHarg, 1992).

Dessa forma, foram então apresentados os mapas de aptidões (Fig. 7), que ilustram a aptidão intrínseca para conservação, recreação e urbanização de Staten Island (McHarg, 1992). O autor, por fim, argumenta sobre a adição de cores às cartografias, onde os tons de cinza se convertem em uma escala de brilho.

Figura 7: Mapas de Aptidões de Staten Island.

CONSERVATION AREAS RECREATION AREAS URBANIZATION AREAS

Legenda: Áreas de conservação; Áreas de recreação; Áreas de urbanização. Fonte: McHarg (1992, p. 110, 112 e 113).

O modelo multicamadas, com o qual Ian McHarg experimentou nos anos 1960, utilizando inicialmente a técnica de sobreposição de transparências, evoluiu significativamente no decorrer do tempo com a introdução das tecnologias de Sistemas de Informação Geográfica (*Geographic Information System* – GIS), a partir da década de 1980, que viabilizaram o armazenamento, manipulação e disposição de vastas coleções de dados espaciais de maneira antes inimaginável (Steiner, 2006; Turner; Gardner; O'Neill, 2001).

Os princípios ecológicos, teóricos e práticos de McHarg se desenvolveram e influenciaram uma infinidade de trabalhos posteriores no campo da arquitetura da paisagem (Ragonha; Schenk, 2022; Yang; Li, 2016). Aqui, cabe ressaltar a atuação de Richard Forman, que nas décadas de 1980 e 1990, com sua abordagem voltada à conservação ambiental, despontou como um dos principais expoentes dos estudos em Ecologia da Paisagem (*Landscape Ecology*) nos Estados Unidos.

1.4 A ECOLOGIA DA PAISAGEM

> Processos naturais estabelecem o ritmo básico que é expresso na forma inicial da terra, à qual cultura, por sua vez, responde com temáticas novas em transformação que tecem um padrão intricado, pontuado aqui e ali por pontos altos da natureza e arte. Sinfonias da paisagem evoluem continuamente no tempo, de maneiras previsíveis e imprevisíveis, respondendo ao processo e ao propósito humano, e, nas sinfonias da paisagem, todos os moradores são compositores e músicos (Spirn, 1998, p. 22, tradução nossa).

Historicamente, segundo Nucci (2007), a Ecologia tem sua origem intimamente ligada aos avanços das ciências exatas, em especial à física e à química, ocorridos entre os séculos XVII e XX, assim como aos estudos realizados por naturalistas, botânicos e zoólogos ao longo do século XIX. Todavia, levou tempo para que fosse reconhecida como disciplina científica, sendo aceita pela comunidade internacional apenas no início do século XX, como um domínio da biologia (Belem, 2020; Odum, 2001). A palavra "ecologia" (*oekologie)* foi introduzida pelo biólogo alemão Ernst Haeckel (1834-1919), em 1869 (Odum, 2001), e definida como a "ciência das relações entre organismos e seu ambiente" (Woudstra, 2004, p. 40, tradução nossa). A evolução do conceito, entretanto, foi gradual e não desenvolvida por Haeckel sozinho, sendo em grande parte fruto do trabalho de geógrafos durante todo o século XIX (Woudstra, 2004).

Enquanto ciência, a ecologia se dedica a compreender os processos fundamentais que gerem os sistemas geomórficos e biológicos (Risser; Karr; Forman, 1984) e, com foco na interação entre organismos e o ambiente em que estão inseridos, "[...] baseia-se no estudo dos fluxos de energia, ciclos de materiais, e na evolução" (Forman; Godron, 1986, p. 77, tradução nossa).

> Uma vez que a ecologia se ocupa especialmente da biologia de *grupos* de organismos e de processos *funcionais* na terra, no mar e na água doce, está mais de harmonia com a moderna acepção definir a ecologia como o estudo da estrutura e do funcionamento da natureza, considerando que a humanidade é uma parte dela (Odum, 2001, p. 4).

Em 1939, o biogeógrafo alemão Carl Troll (1899-1975), motivado pela observação de fotografias aéreas, cunhou o termo "ecologia da paisagem" (*landschaftsökologie*) (Dramstad; Olson; Forman, 1996; Pellegrino *et al.*, 2006; Troll, 1971; Turner; Gardner; O'Neill, 2001), campo de estudo que emergiu a partir de pesquisas europeias em geografia regional e ciências florestais (Ingegnoli, 2002; Troll, 1971; Turner; Gardner; O'Neill, 2001; Turner, 1989). Apesar dos esforços de Troll para unir campos geológicos e biológicos, as pesquisas acerca das paisagens seguiram separadas nessas duas ramificações por décadas (Ingegnoli, 2002).

Desde os anos 1960, a integração de princípios ecológicos modernos com fundamentos geográficos, criou uma sinergia que impulsionou o crescimento da ecologia da paisagem (Forman; Godron, 1986), e que culminou, no início dos anos 1980, em um conjunto de teorias com o objetivo de explicar "[...] a heterogeneidade espacial de energia,

nutrientes, água, plantas e animais no nível da paisagem [...]" (Forman, 1983, p. 535, tradução nossa, grifo nosso). Vários estudiosos contribuíram com os fundamentos da ecologia da paisagem (Forman; Godron, 1986; Turner, 1989), que se configura como uma disciplina dedicada ao estudo das interações entre padrões espaciais ecológicos, com ênfase nas causas e consequências da heterogeneidade espacial em uma infinidade de escalas (Turner; Gardner; O'Neill, 2001).

Os anos 1980 marcaram, de fato, o desenvolvimento da conceituação da ecologia da paisagem, com a contribuição de profissionais biólogos, ecólogos, geógrafos, arquitetos paisagistas, cientistas sociais, entre outros (Forman, 1983; Risser; Karr; Forman, 1984). Em 1982, foi fundada a Associação Internacional para Ecologia da Paisagem (*International Association for Landscape Ecology* – IALE), com escritórios na Europa e na América do Norte (Forman, 1983). Nos Estados Unidos, em 1986, Richard Forman, professor de ecologia da paisagem em Harvard, e Michel Godron, professor de ecologia na Universidade de Montpellier (França), publicaram juntos o livro "*Landscape Ecology*", obra essencial e que contribuiu para a tessitura inicial do paradigma de "mosaico da terra".

A partir dessa publicação, compreendeu-se a paisagem como um "[...] mosaico de formas terrestres, tipos de vegetação, e usos de solo heterogêneos [...]" (Urban; O'Neill; Shugart, 1987, p. 119, tradução nossa). Dessa forma, Forman; Godron (1986) argumentam que a ecologia da paisagem, enquanto estudo da paisagem e seus padrões espaciais, foca em três características:

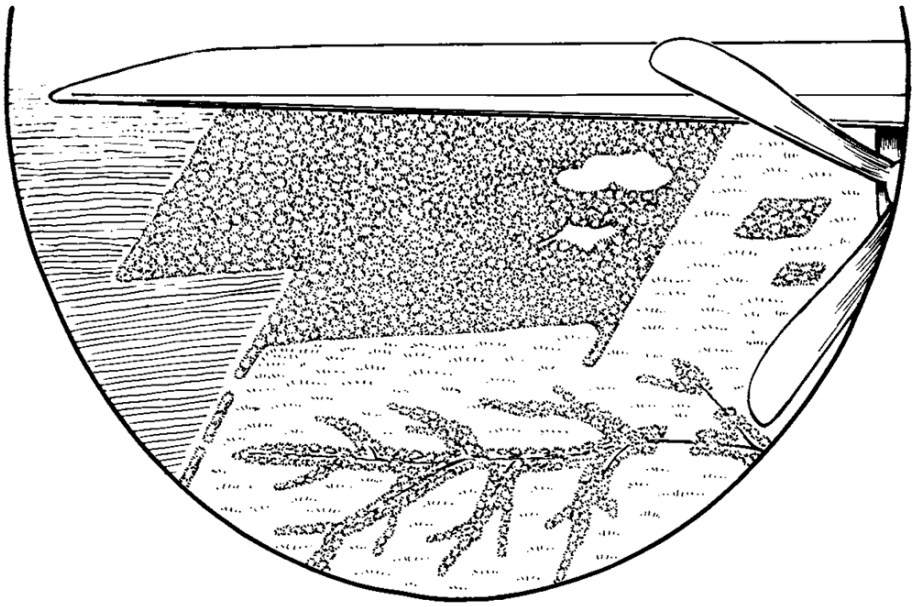
> (a) estrutura, os padrões espaciais de elementos da paisagem e objetos ecológicos (como animais, biomassa, e nutrientes minerais); (b) função, o fluxo de objetos entre os elementos da paisagem; e (c) transformação, as alterações no mosaico ao longo do tempo (Forman; Godron, 1986, p. 31, tradução nossa).

O principal objetivo da ecologia da paisagem é, portanto, compreender as relações recíprocas entre processos naturais e padrões espaciais (Wu; Hobbs, 2002), lidando com a configuração espacial de mosaicos na paisagem em uma infinidade de fenômenos ecológicos (Wiens *et al.*, 1993). A heterogeneidade das paisagens pode ser observada em seus mosaicos (Fig. 8), que são compostos por três tipos de elementos espaciais[6]: **manchas** (*patches* – áreas não lineares, relativamente homogêneas e que se diferem de seu

[6] *Spatial element:* cada unidade relativamente homogênea reconhecida em um mosaico em qualquer escala (Forman, 1995, p. 39).

entorno); **corredores** (*corridors* – faixas de terra que se diferem de suas áreas adjacentes em ambos os lados); e **matrizes** (*matrix* – ecossistemas ou tipo de uso do solo predominantes de plano de fundo (Dramstad; Olson; Forman, 1996; Forman, 1995; Forman; Godron, 1986).

Figura 8: Ilustração mosaico de uma paisagem.



Legenda: Observando o padrão: a grande área florestada e os fragmentos de vegetação são as manchas; os elementos lineares são corredores; o ecossistema onde estão inseridos é a matriz. Fonte: Forman (1995, p. 5).

A partir da compreensão de que padrões estruturais dos mosaicos nas paisagens são compostos, essencialmente, por esses três tipos de elementos espaciais, cunhou-se o modelo *patch-corridor-matrix* (mancha-corredor-matriz), que fornece um identificador para análise, comparação e detecção de padrões e princípios gerais em uma área de estudo (Dramstad; Olson; Forman, 1996; Forman, 1995; Forman; Godron, 1986; Ingegnoli, 2002). Dada a simplicidade de leitura de seus atributos chave, o modelo se tornou uma **linguagem espacial,** capaz de facilitar a comunicação entre diversos profissionais e tomadores de decisões, podendo ser empregado, por exemplo, no planejamento da paisagem e do uso de solo (Dramstad; Olson; Forman, 1996; Forman, 1995).

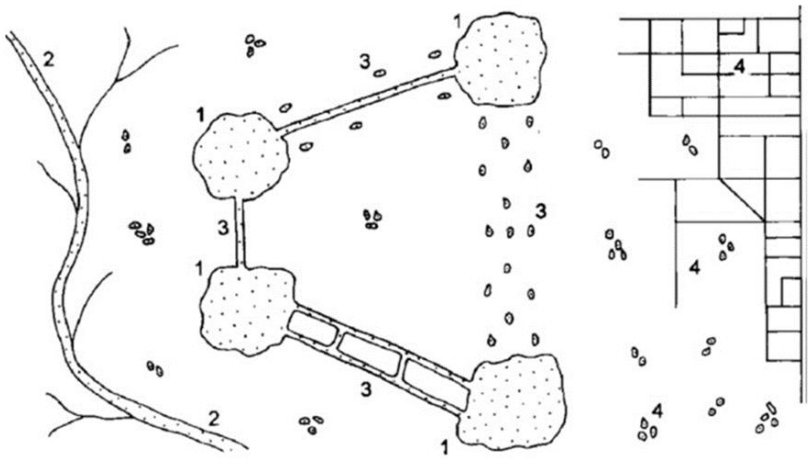
Exemplificando sua linguagem espacial, Forman (1995) afirma que:

> [...] manchas variam de grandes a pequenas, de alongadas a circulares, e de irregulares a regulares. Corredores variam de largos a estreitos, de alta a baixa conectividade, e de tortuosos a retilíneos. E uma matriz é de extensiva a limitada, de contínua a perfurada, e de variada a quase homogênea. Essas descrições científicas são próximas de conceitos em dicionários (Forman, 1995, p. 7, tradução nossa).

O modelo mancha-corredor-matriz admite elaboração e reconhece a importância de atributos adicionais (Forman, 1995). Por exemplo: nós (*nodes*) são manchas conectadas a corredores; bordas/limites (*boundaries*) separam elementos espaciais e podem conter distintas estruturas; e trampolins ecológicos (*stepping stones*), assim como os corredores, são elementos de conectividade entre manchas (Forman, 1995; Pellegrino *et al.*, 2006).

Dessa forma, aplicados ao planejamento da paisagem, quatro padrões indispensáveis (Fig. 9) são apresentados por Forman (1995) como prioridades a serem consideradas em um plano: (1) grandes manchas de vegetação nativa; (2) largos corredores de vegetação ao longo dos principais cursos d'água; (3) conectividade para movimentação de espécies chave entre as manchas grandes; e (4) pedaços heterogêneos de natureza permeando as áreas desenvolvidas pelo homem.

Figura 9: Padrões indispensáveis no planejamento da paisagem.



Legenda: (1) grandes manchas de vegetação nativa; (2) corredores em cursos d'água; (3) conectividade entre grandes manchas (corredores e *stepping stones*); (4) espaços de natureza permeando a matriz. Fonte: Forman (1995, p. 452).

A ecologia da paisagem se ocupa, portanto, dos estudos acerca dos processos de fragmentação e isolamento de ecossistemas naturais causados por ações antrópicas (Pellegrino *et al.*, 2006) e, consequentemente, investiga a influência da conectividade sobre os processos ecológicos nas paisagens, como riscos de extinção e possibilidades de movimentação de espécies (Metzger, 2001; Pellegrino *et al.*, 2006; Turner; Gardner; O'Neill, 2001). O conceito de conectividade representa grande importância para a persistência de espécies, tanto animais quanto vegetais (Risser; Karr; Forman, 1984; Turner; Gardner; O'Neill, 2001; Turner, 1989).

Por conectividade, entende-se o grau de continuidade de um corredor; uma rede verde ou da própria matriz (Forman, 1995; Forman; Godron, 1986); a capacidade da paisagem de permitir processos naturais (Forman, 1995) e de viabilizar fluxos e mobilidade de componentes bióticos pelos elementos da paisagem (Costa; Machado, 2012; Forman, 1995; Pellegrino *et al.*, 2006).

Nesse sentido, amplos corredores contínuos conformando uma verdadeira **rede verde**, podem ser considerados o melhor mecanismo para se alcançar conectividade em rede, isto é, um elevado estágio de integração de **nós e corredores** (Forman, 1995; Forman; Godron, 1986). Na literatura existente, essa conectividade assume distintas formas e nomenclaturas, como cinturões verdes, redes ecológicas ou **corredores verdes** (Costa; Machado, 2012; Jongman; Külvik; Kristiansen, 2004).

1.5 O MOVIMENTO DOS CORREDORES VERDES NOS ESTADOS UNIDOS

Corredores verdes são espaços abertos lineares, com significativos valores ecológicos, recreacionais, históricos e culturais, e que promovem conectividade entre fragmentos de vegetação na paisagem (Fabos, 2004; Frischenbruder; Pellegrino, 2006). O termo "*greenway*", em português "corredor verde", apareceu pela primeira vez na literatura em 1959, em publicação do sociólogo e urbanista William Whyte (1917-1999), intitulada "*Securing Open Space for Urban America*". Todavia, a bibliografia sobre o tema manteve-se escassa até os anos 1990 (Fabos, 1995; Little, 1990).

A popularização do termo, e a consolidação do movimento dos corredores verdes, ocorreu em meio a um contexto de novas tendências globais em conservação e uso da terra, em especial a partir da disciplina de ecologia da paisagem, em combate à fragmentação de paisagens naturais (Ahern, 1995; Fabos, 1995; Forman; Godron, 1986; Jongman; Pungetti, 2004). Catalizadora do movimento, em 1987, a *President's Commission on American Outdoors* advogou por sua visão de futuro, onde defendia a criação de redes de corredores verdes próximas às zonas residenciais e capazes de conectar espaços urbanos e rurais, utilizando-se, para tanto, de corredores naturais ao longo de cursos d'água, linhas férreas abandonadas e espaços abertos públicos e semipúblicos (Fabos, 1995, 2004; Ryder, 1995; Walmsley, 1995).

Organizações não governamentais também tiveram papel importante no estabelecimento desse movimento, o *American Conservation Fund* foi talvez a mais atuante

delas nesse sentido (Fabos, 1995). Responsável por conservar imensas áreas naturais e recursos hídricos, o *Conservation Fund* criou, também em 1987, o *American Greenways Program* a fim de fortalecer o conceito dos corredores verdes pelos Estados Unidos (Benedict; McMahon, 2006; Fabos, 1995, 2004). O Fundo ainda concedeu financiamento para pesquisas e publicações científicas de autores que definiriam o movimento dos corredores verdes (Fabos, 1995).

A partir de então, a primeira metade da década de 1990 foi marcada pelo rápido crescimento na produção científica sobre corredores verdes. Em 1990, Charles Little publicou "*Greenways for America*", obra responsável pela popularização do termo e que apresentou suas primeiras definições (Fabos, 1995; Little, 1990) e, em 1993, "*Greenways: A Guide to Planning, Design, and Development*", de Charles Flink e Robert Searns, apresentou informações práticas sobre planejamento, projeto e construção de corredores verdes e parques lineares (Fabos, 1995; Flink; Searns, 1993). Ambas as obras foram financiadas pelo *Conservation Fund* (Fabos, 1995). Também em 1993, "*Ecology of Greenways*" foi publicado por Daniel Smith e Paul Cawood Hellmund, com foco na ecologia e proteção da natureza como o objetivo do planejamento de corredores verdes. (Fabos, 1995; Smith; Hellmund, 1993). Em 1995, o periódico *Landscape and Urban Planning*, em reconhecimento à escassez de literatura sobre o tema, publicou um volume especial sobre *greenways*, que reuniu o trabalho de 27 autores de seis países, da América do Norte e Europa, naquela que é considerada a primeira publicação internacional sobre corredores verdes (Fabos, 1995).

Essa profusão de literatura representou "[...] um período de transição entre um estado difuso de atividades tipo corredores verdes para uma era de planejamento de corredores verdes bem definida" (Fabos, 1995, p. 2, tradução nossa). Embora o termo tenha se popularizado há apenas cerca de três décadas, ideias próximas a de corredores verdes já vinham sendo aplicadas por diferentes profissionais desde o final do século XIX, sendo possível observar conceitos similares no trabalho de Frederick Law Olmsted para o *Emerald Necklace* (Fabos, 1995; Little, 1990; Ryder, 1995), na cidade jardim e no cinturão verde de Ebenezer Howard (Little, 1990; Ryder, 1995; Walmsley, 1995), no planejamento regional de Benton MacKaye (Little, 1990; Ryder, 1995) e no planejamento ecológico de Ian McHarg (Fabos, 1995, 2004; Flink, 1993; Little, 1990; Searns, 1995).

Nesse momento de formalização de teorias, Little (1990) apresentou como primeiras definições para os *greenways*:

> 1. Um espaço linear aberto estabelecido ao longo de um corredor natural, como a margem de um rio, o vale de um riacho ou a crista de uma bacia fluvial, ou por terra ao longo de uma linha férrea convertida prioritariamente para uso recreacional, um canal, uma estrada panorâmica ou outra rota.
> 2. Qualquer percurso, natural ou projetado, para a passagem de pedestres ou ciclistas.
> 3. Um conector de espaços abertos ligando parques, reservas naturais, elementos culturais, ou sítios históricos uns aos outros e com áreas povoadas.
> 4. Localmente, uma determinada faixa ou parque linear projetado como via verde ou cinturão verde.
>
> (Little, 1990, p. 1, tradução nossa).

As definições de Little (1990) estavam alinhadas àquelas apresentadas pela *President's Comission* de 1987, e o autor dividiu os corredores verdes em cinco categorias: 1) corredores verdes em rios urbanos; 2) corredores verdes recreacionais; 3) corredores naturais ecologicamente significativos; 4) rotas cênicas ou históricas; e 5) redes ou sistemas abrangentes de corredores verdes (Little, 1990, p. 4–5; Ryder, 1995, p. 418). Em sintonia com Little (1990), e buscando facilitar a compreensão dos corredores verdes, Ahern (1995) afirma que esses podem variar de acordo com sua escala, objetivos, contextos de inserção na paisagem e estratégias de planejamento.

O conceito de corredores verdes, portanto, se relaciona intimamente ao ambiente humano e seu respectivo desenvolvimento (Jongman; Pungetti, 2004). Evoluiu enquanto um modelo de planejamento da paisagem e proteção de recursos naturais flexível e polivalente (Ahern, 2004), e "[...] nos permitiu pensar a paisagem de modo mais ativo, como um agente vivo capaz de transformar as condições de seu entorno" (Frischenbruder; Pellegrino, 2006, p. 77, tradução nossa). Essa evolução de pensamento no planejamento da paisagem culminou, próximo ao final do século XX, na compreensão de que corredores verdes tinham potencial enquanto infraestrutura ecológica, uma **infraestrutura verde**, integrando redes verdes e azuis em estratégias para uma condição de cidades e paisagens sustentáveis, respeitando recursos bióticos e abióticos (Ahern, 1995; Flink, 1993; Frischenbruder; Pellegrino, 2006; Little, 1990; Walmsley, 1995).

CAPÍTULO 02 – INFRAESTRUTURA VERDE: ARTICULAÇÃO CIDADE-NATUREZA NO DESENHO DA PAISAGEM

Contemporaneamente ao movimento dos corredores verdes nos Estados Unidos, os anos 1990 marcaram o surgimento de uma abordagem inovadora para o planejamento da paisagem, a denominada Infraestrutura Verde (IV). Trata-se de um conceito emergente (Ahern, 2007) e em evolução (Mell, 2010), que nos últimos anos tem se tornado uma das mais importantes estratégias para o desenvolvimento sustentável das cidades em suas três esferas: ambiental, social e econômica (Wang; Banzhaf, 2018; Ying *et al.*, 2022). Contudo, desde suas origens, a IV tem sido definida de distintas maneiras (Wang; Banzhaf, 2018), consequência da diversidade de disciplinas envolvidas em seu processo de conceituação, fazendo com que ainda não exista uma definição padrão reconhecida na literatura (Bartesaghi Koc; Osmond; Peters, 2017; Santos; Enokibara, 2021; Ying *et al.*, 2022).

Trabalhos de revisão de literatura são realizados, exaustivamente, buscando compreender a definição (Grabowski *et al.*, 2022; Santos; Enokibara, 2021; Wang; Banzhaf, 2018; Ying *et al.*, 2022), os princípios (Monteiro; Ferreira; Antunes, 2020), as categorizações de tipologias (Bartesaghi Koc; Osmond; Peters, 2017) e as contribuições da IV para o planejamento e projeto da paisagem (Sant'Anna, 2020), sendo tais estudos de extrema importância para embasar o processo de planejamento de IV.

Nesse sentido, o presente capítulo pretende estabelecer um referencial teórico-conceitual acerca da IV. Parte, portanto, da revisão bibliográfica de autores consagrados em pesquisas sobre o tema, nacional e internacionalmente, como Ahern (2007, 2010); Ahern; Pellegrino; Becker (2012); Benedict; McMahon (2002, 2006); Bonzi (2019, 2017); Herzog; Rosa (2010); Mell (2008, 2009, 2010, 2023); Pellegrino et al. (2006); Pellegrino; Ahern (2023); Sant'Anna (2020); Schenk (2022b), entre outros. E investiga-se a evolução da conceituação da abordagem, seus princípios e funções, chegando às definições, mais recentes, de Infraestrutura Verde e Azul e Soluções baseadas na Natureza, compondo, assim, um arcabouço teórico que edifica, porém não esgota, as discussões da disciplina.

2.1 ORIGENS DA INFRAESTRUTURA VERDE: UMA COALESCÊNCIA DE DISCIPLINAS

Em 1983 estabeleceu-se a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da ONU, que discutiu a necessidade de se planejar por um

desenvolvimento sustentável para garantir o futuro das comunidades. A partir desse período, o interesse por conceitos de planejamento de Infraestrutura Verde e práticas de conservação de áreas naturais aumentou de maneira significativa (Benedict; McMahon, 2002, 2006).

Ao longo dos anos 1990, a busca pela sustentabilidade se tornou um objetivo global. Fundamentalmente, teorias oriundas da ecologia da paisagem, do planejamento urbano e regional, geografia, arquitetura da paisagem, engenharia civil, biologia da conservação[7] e as iniciativas do movimento dos corredores verdes, embasaram a conceituação da IV (Benedict; McMahon, 2002, 2006), que teve sua origem a partir de dois princípios essenciais: "(1) conectar parques e outras áreas verdes para o benefício das pessoas; e (2) preservar e conectar áreas naturais para beneficiar a biodiversidade e combater a fragmentação de habitat." (Benedict; McMahon, 2002, p. 8, tradução nossa). Na definição da IV observa-se, portanto, a coalescência dos estudos das relações homem-cidade-natureza realizados desde o século XIX, uma fusão de disciplinas e abordagens em prol da conservação ambiental. O termo pode ser recente, mas o conceito não é (Benedict; McMahon, 2006).

Pioneiramente, Little (1990) utilizou o termo "*green infrastructure*" em *Greenways for America* (Pochodyła; Glińska-Lewczuk; Jaszczak, 2021; Sandström, 2002; Walmsley, 1995) para descrever uma das cinco categorias de corredores verdes que observara:

> Redes ou sistemas abrangentes de corredores verdes, usualmente baseados em formas naturais do relevo como vales ou cristas topográficas, mas as vezes simplesmente um conjunto oportunista de corredores verdes e espaços abertos de vários tipos para criarem uma infraestrutura verde alternativa, municipal ou regional (Little, 1990, p. 5, tradução nossa, grifo nosso).

Em meio a esse contexto, as primeiras iniciativas de projetos de infraestrutura verde ocorreram nos estados de Maryland e da Flórida (EUA), em forma de planos estaduais de sistemas de corredores verdes (Benedict; McMahon, 2006; Sant'Anna, 2020). Criada em 1990, a *Maryland Greenways Comission* (Comissão de Corredores Verdes de Maryland) tinha como objetivo criar "[...] uma rede estadual de infraestrutura natural, através da proteção e conexão de importantes corredores naturais pelo estado." (Maryland Greenways

[7] Disciplina focada na criação de princípios e ferramentas para proteção de diversidade biológica e de habitats críticos (Benedict; McMahon, 2006; Soulé, 1985).

Comission, 1992, p. 1, tradução nossa). A iniciativa do programa deu origem a uma série de análises ecológicas e mapas de infraestrutura verde (Benedict; McMahon, 2006). O estado também desenvolveu o *Green Infrastructure Assessment System* (GIA), em português Sistema de Avaliação de Infraestrutura Verde, uma ferramenta baseada em Sistemas de Informação Geográfica (*Geographic Information System* – GIS) para identificar áreas prioritárias para conservação (McMahon, 2000; Weber; Wolf, 2000).

De maneira similar ao plano de Maryland, a *Florida Greenways Comission* (Comissão de Corredores Verdes da Flórida), estabelecida em 1994, tinha como objetivo a criação de uma rede estadual de corredores verdes, reconhecendo a "infraestrutura verde" estadual com o mesmo grau de importância que a infraestrutura construída e, empregando ferramentas baseadas em GIS, constituiu cartografias que representavam as redes ecológicas, recreacionais e culturais do estado, sendo que, juntas, conformavam o Sistema de Corredores Verdes da Flórida (Benedict; McMahon, 2002, 2006; Florida Greenways Comission, 1994; McMahon, 2000).

Outros inúmeros projetos em escala estadual, regional e local foram desenvolvidos em distintas localidades pelos Estados Unidos (McMahon, 2000) e, nesse sentido, o *Conservation Fund* teve uma significativa atuação na disseminação da IV enquanto estratégia de planejamento e projeto (Mell, 2008). À vista disso, cabe ressaltar o trabalho de dois importantes integrantes do grupo: Mark Benedict, enquanto diretor da Rede de Lideranças em Conservação[8] do *Conservation Fund* e diretor executivo da Comissão de Corredores Verdes da Flórida, e Edward McMahon, enquanto vice-presidente do Programa de Uso do Solo[9] do *Fund* e consultor na Comissão de Corredores Verdes de Maryland (Benedict; McMahon, 2002).

Em 2006, Benedict e McMahon publicaram, com apoio do *Conservation Fund*, o livro "*Green Infrastructure: linking landscapes and communities*", obra responsável pela posterior popularização da infraestrutura verde pelo mundo (Fletcher *et al.*, 2015; Santos; Enokibara, 2021) e que trouxe a primeira definição explícita para o termo.

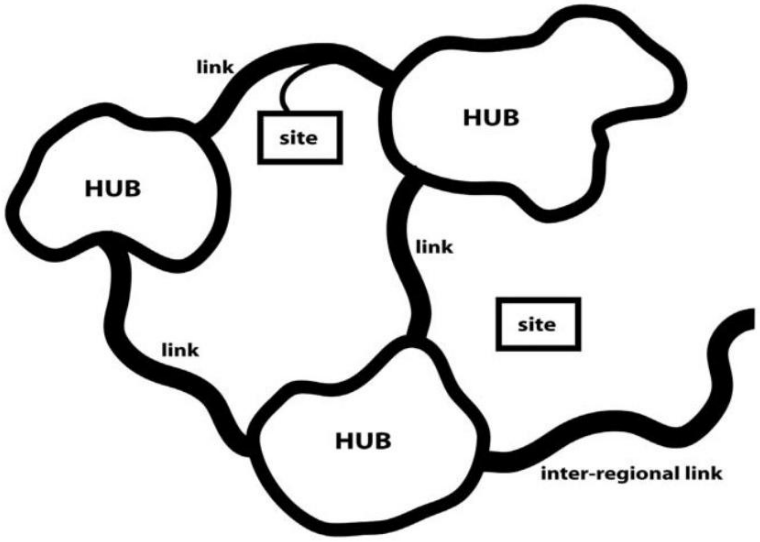
> [...] uma rede interconectada de áreas naturais e outros espaços abertos que conserva valores e funções naturais de ecossistemas, mantém ar e água puros, e provê um grande

[8] *Conservation Leadership Network*.
[9] *Land Use Programs*.

> conjunto de benefícios para as pessoas e a vida selvagem [...] (Benedict; McMahon, 2006, p. 1, tradução nossa).

Essa rede de infraestrutura verde proposta pelos autores detém o princípio básico de conexão de espaços verdes, e está organizada em um sistema (Fig. 10) de *hubs, links e sites* (núcleos, conexões e locais) (Benedict; McMahon, 2006) descritos no Quadro 1.

Figura 10: Rede de Infraestrutura Verde. Sistema hubs-links-sites.



Fonte: Benedict; McMahon (2006, p. 13).

Quadro 1: Elementos chave da infraestrutura verde.

Hubs ancoram redes de infraestrutura verde e provém espaço para vegetação e animais nativos, assim como são origem ou destino para vida selvagem, pessoas e processos ecológicos se movendo pelo sistema. Podem ter diferentes formas e tamanhos, incluindo grandes reservas e áreas protegidas; terras públicas geridas para extração de recursos; áreas privadas; parques e áreas verdes onde processos naturais são protegidos ou reestabelecidos. *Sites* são menores que os *hubs* e podem ou não estarem ligados espacialmente ao conjunto. Entretanto, enquanto componentes de uma rede de infraestrutura verde, contribuem com importantes valores ecológicos e sociais, protegendo o hábitat de animais ou proporcionando espaço para recreação e lazer. *Links* são as conexões que amarram o sistema, mantém os processos naturais e podem proporcionar espaço para a proteção de locais históricos e oportunidades para recreação.

Fonte: Adaptado de Benedict; McMahon (2006, p. 13–14, tradução nossa).

Tal caracterização demonstra a clara influência da Ecologia da Paisagem e seu modelo de leitura do território (mancha-corredor-matriz) para a fundamentação da IV (Mell, 2009). Desde então, o conceito de IV vem sendo aplicado aos sistemas físicos paisagísticos

que fornecem serviços ecológicos e contribuem para uma condição sustentável da paisagem (Ahern, 2010).

2.2 DEFINIÇÕES DA INFRAESTRUTURA VERDE

A despeito de não haver na literatura uma definição padrão reconhecida para a IV (Bartesaghi Koc; Osmond; Peters, 2017; Santos; Enokibara, 2021; Ying *et al.*, 2022), de certa forma, é consenso entre autores de que se trata de uma "[...] rede interconectada de elementos naturais e seminaturais capaz de prover múltiplas funções e serviços ecossistêmicos[10] [...]" (Bartesaghi Koc; Osmond; Peters, 2017, p. 15, tradução nossa).

Nesse sentido, é possível observar o impacto de Benedict; McMahon (2006) na disseminação do termo e em sua conceituação, uma vez que uma infinidade de estudos posteriores, em nível internacional (Ahern, 2007, 2010; Ferreira; Machado, 2010; Mell, 2008, 2009), e no Brasil (Bonzi, 2019, 2017; Cormier; Pellegrino, 2008; Franco, 2010; Herzog; Rosa, 2010; Vasconcellos, 2015), entre inúmeros outros, partiram da definição proposta pelos autores. Em harmonia com a definição de redes de áreas naturais de Benedict; McMahon (2006), Mell (2010) propõe:

> Infraestruturas verdes são as paisagens resilientes que apoiam os interesses ecológicos, econômicos e humanos ao manter a integridade e promover a conectividade da paisagem, enquanto melhoram a qualidade de vida, local e ambiental, através de diferentes fronteiras paisagísticas (Mell, 2010, p. 37, tradução nossa).

Definições de IV vão desde as mais suscintas, limitadas à consideração de árvores e à construção de paredes e telhados verdes (Wang *et al.*, 2014), até referirem-se às soluções de engenharia empregadas para manejo de águas pluviais (Franco, 2010). No entanto, podem, e devem, ter significados mais abrangentes e elaborados (Franco, 2010), distanciando-se da perspectiva de que a IV se restrinja apenas às áreas verdes (Mell, 2019). Nesse sentido, Ahern; Pellegrino; Becker (2012) a definem como:

> [...] redes de espaços abertos integrados espacial e funcionalmente, constituídos por estruturas de suporte naturais, artificiais e híbridas, que conformam paisagens que provêm apoio à sustentabilidade de assentamentos humanos, por meio de serviços ecológicos múltiplos e complementares (Ahern; Pellegrino; Becker, 2012, p. 38).

[10] Representam os benefícios às pessoas providos, direta ou indiretamente, pelas funções e processos ecossistêmicos (Costanza *et al.*, 1997).

Nessa visão de sistemas híbridos de paisagens naturais e infraestruturas construídas, Ahern (2010) afirma que a IV deve ser espacial e funcionalmente integrada e, ao assegurar o pleno funcionamento dos ecossistemas, provê uma ampla gama de benefícios à sociedade em prol da sustentabilidade. Na Europa, de certa maneira, há uma sintonia de estudos sob essa ótica, uma vez que para os pesquisadores e autores do continente, o conceito de IV está fortemente relacionado à multifuncionalidade (Hansen; Pauleit, 2014; Mell, 2008), às mudanças climáticas e ao crescimento sustentável (Chatzimentor; Apostolopoulou; Mazaris, 2020), refletindo, portanto, a estratégia europeia, que define a IV como uma "[...] rede estrategicamente planejada de zonas naturais e seminaturais, com outras características ambientais, concebida e gerida para prestar uma ampla gama de serviços ecossistêmicos" (Comissão Europeia, 2013, p. 3).

De modo oposto à abordagem europeia, Grabowski et al. (2022) afirmam que nos planos municipais estadunidenses, o conceito de IV costuma ser mais associado à hidrologia e ao manejo de águas pluviais do que às múltiplas funções de paisagens integrativas. Isso se dá como reflexo à definição atribuída pela Agência de Proteção Ambiental (*US Environmental Protection Agency* – EPA) que, em 2007, definiu a IV como "um conjunto de práticas de controle de águas de chuvas" para cumprir com a "Lei da Água Limpa" (*Clean Water Act*), de 1972 (Grabowski *et al.*, 2022, p. 152).

Grabowski et al. (2022) advogam que futuras pesquisas e políticas de planejamento devam ser pautadas por uma nova e ampla definição de IV, que englobe as relações entre sistemas de infraestruturas construídas e ecológicas, beneficiando, as comunidades. Dessa forma, afirmam que a "Infraestrutura Verde (IV) refere-se a um sistema de ecossistemas interconectados, híbridos ecológicos-tecnológicos, e infraestruturas construídas provendo funções e benefícios sociais, ambientais e tecnológicos [...]" (Grabowski *et al.*, 2022, p. 158, tradução nossa).

Nessa incessante busca por definições concretas, diversas disciplinas contribuem para os estudos em IV: ciências ambientais, arquitetura e urbanismo, geografia, economia, entre outras, ampliando assim o escopo de perspectivas e abordagens observadas (Bartesaghi Koc; Osmond; Peters, 2017; Ying *et al.*, 2022). Dessa forma, a definição pode variar de acordo com o contexto em que é empregada (Franco, 2010). A evolução do conceito não é linear e, visto que se trata de um termo relativamente recente, o conceito de

IV continua suscetível a mudanças, à medida em que as teorias e práticas de planejamento se desenvolvem (Wright, 2011).

No cenário brasileiro, é possível observar sintonia com as teorias trabalhadas internacionalmente. Santos; Enokibara (2021) afirmam, com base em uma revisão sistemática de literatura realizada em periódicos nacionais, que o conceito de IV tem evoluído e se expandido, de uma abordagem inicialmente voltada apenas à conservação ambiental, para uma estratégia de planejamento em múltiplas escalas.

Esse diálogo com as pesquisas internacionais é refletido nas formas que a IV toma no Brasil. Em um dos primeiros artigos publicados em língua portuguesa, Cormier; Pellegrino (2008, p. 128) definem a IV como uma "rede de espaços interconectados, na escala do planejamento urbano e regional [...] composta de áreas naturais e outros tipos de espaços abertos que conservam os valores de ecossistemas naturais e suas funções [...]". Destacam ainda que, em escala regional, essa rede toma partido de parques, corredores verdes e reservas naturais, e, nas cidades, esse sistema pode ser expandido e aplicado à readequação de infraestruturas urbanas existentes, dando ênfase à drenagem e à qualidade da água (Cormier; Pellegrino, 2008).

Em síntese, hoje, a IV pode ser entendida como uma estratégia ou ferramenta de planejamento e projeto da paisagem (Cormier; Pellegrino, 2008; Sant'Anna, 2020; Santos; Enokibara, 2021; Schenk, 2022b) que se materializa por meio de redes multifuncionais interconectadas de sistemas de vegetação e de água (Benedict; McMahon, 2006; Comissão Europeia, 2013; Herzog, 2013; Mell, 2023; Monteiro; Ferreira; Antunes, 2020; Pellegrino *et al.*, 2006); compostos por estruturas híbridas de elementos naturais e infraestruturas construídas (Ahern, 2007, 2010; Bonzi, 2017; Grabowski *et al.*, 2022; Pellegrino; Ahern, 2023; Ying *et al.*, 2022); que buscam mimetizar processos naturais da paisagem e integrar cidade e natureza (Cormier; Pellegrino, 2008; Herzog, 2013; Sant'Anna, 2022; Schenk, 2022b); que garantem fluxos e processos ecológicos (Herzog; Rosa, 2010; Wang; Banzhaf, 2018; Wright, 2011); que provêm benefícios às comunidades por meio de serviços ecossistêmicos (Ahern; Pellegrino; Becker, 2012; Hansen; Pauleit, 2014; Monteiro; Ferreira; Antunes, 2020); que reestruturam o mosaico da paisagem e atuam na proteção e conservação ambiental (Franco, 2010; Herzog, 2013; Herzog; Rosa, 2010; Wright, 2011) e, de maneira geral, melhoram a qualidade de vida nas cidades, consolidando um ambiente urbano mais saudável (Mell, 2008, 2010; Pellegrino *et al.*, 2006; Schenk, 2022b).

A ideia de uma infraestrutura verde multifuncional em múltiplas escalas contribui para o desenho urbano ecologicamente eficiente (Pellegrino *et al.*, 2006) e representa a "[...] diluição das fronteiras entre urbanismo, planejamento urbano, arquitetura da paisagem e as engenharias civil, ambiental, agronômica e hidráulica" (Bonzi, 2017, p. 22). O cenário de obsolescência das infraestruturas convencionais, e o aumento do impacto das mudanças climáticas traz à tona a necessidade de mudança do paradigma tradicional de planejamento e projeto das cidades, e clama por uma abordagem inovadora, onde a paisagem seja compreendida por sua dimensão infraestrutural, transcendendo, assim, o papel secundário ao qual geralmente lhe é atribuído (Bonzi, 2019; Sant'Anna, 2022).

A paisagem pode, de fato, desempenhar funções infraestruturais, à medida que compreendemos que os sistemas de espaços livres, articulados com o tecido urbano, têm potencial de prover serviços e benefícios essenciais às comunidades (Bonzi, 2019, 2017; Pellegrino *et al.*, 2006). Através de uma abordagem sistêmica que permite um desenvolvimento sustentável (Mell, 2008), os espaços verdes passam de algo "**bom** de se ter" para algo "**essencial** de se ter" (Benedict; McMahon, 2006).

2.2.1 Princípios da Infraestrutura Verde

Ademais de um conceito de configuração espacial (redes multifuncionais interconectadas de espaços verdes e azuis), a IV se apresenta como abordagem sistemática de planejamento estratégico (Bonzi, 2017), facilitada pelo desenvolvimento de princípios de planejamento (Monteiro; Ferreira; Antunes, 2020). Dez princípios para a conservação da natureza e o uso sustentável do solo (Quadro 2) são descritos por Benedict; McMahon (2006).

Quadro 2: Os Princípios da Infraestrutura Verde.

1. Conectividade é a chave.
2. Contexto importa.
3. Deve ser fundamentada por conhecimento sólido e por teorias e práticas de planejamento de uso do solo.
4. Pode e deve funcionar como estrutura para conservação e desenvolvimento.
5. Deve ser planejada antes do desenvolvimento;
6. É um investimento público fundamental que deve ter prioridade de financiamento.
7. Proporciona benefícios para a natureza e para as pessoas.
8. Respeita as necessidades e os desejos dos proprietários e outras partes interessadas.
9. Requer o estabelecimento de conexões com atividades dentro e fora da comunidade.
10. Requer comprometimento a longo prazo.

Fonte: Benedict; McMahon (2006, p. 37, tradução nossa).

Desses dez princípios definidos por Benedict; McMahon (2006), quatro são destacados por Franco (2010): conectividade; contexto; estrutura; e comprometimento. A **conectividade** é considerada o princípio chave da IV, pois, conforme demonstrado pela disciplina da Biologia da Conservação, as conexões são fundamentais para que os sistemas naturais consigam desempenhar suas funções corretamente e, por "conectividade" entende-se a conexão entre espaços naturais e outros espaços abertos, entre pessoas e entre programas. O princípio do **contexto** relaciona-se à necessidade de compreensão dos fatores físicos e biológicos que envolvem os ecossistemas e as paisagens. O planejamento de IV pode fornecer uma **estrutura** capaz de guiar o desenvolvimento ao mesmo tempo que conserva recursos naturais. E por fim, requer **comprometimento** a longo prazo a fim de que transcenda agendas políticas (Benedict; McMahon, 2006; Franco, 2010).

Esses princípios têm sido popularizados pelas práticas de planejamento, ultrapassando limites geográficos e disciplinares (Mell, 2019). Nesse sentido, Mell (2008) indica princípios similares aos de Benedict; McMahon (2006) para o planejamento e projeto de IV, sendo: "conectividade; acesso [à natureza]; pensamento e planejamento estratégico; escala apropriada; multifuncionalidade; e uma integração holística de influências ecológicas, econômicas e sociais" (Mell, 2008, p. 26, tradução nossa).

Revisando a literatura existente sobre o tema, Monteiro; Ferreira; Antunes (2020) identificam os oito princípios mais comuns aos processos de planejamento de infraestruturas verdes (Quadro 3), e que contribuem para a criação de redes de espaços verdes de qualidade e funcionais: "[...] conectividade, multifuncionalidade, mustiescalaridade, integração, diversidade, aplicabilidade, governança e continuidade" (Monteiro; Ferreira; Antunes, 2020, p. 7, tradução nossa). Desses, **conectividade, multifuncionalidade** e **multiescalaridade** são apontados como os princípios fundamentais da IV (Monteiro; Ferreira; Antunes, 2020), sendo os dois primeiros os mais comumente citados por distintos autores (Bartesaghi Koc; Osmond; Peters, 2017; Kim; Song, 2019; Rusche; Reimer; Stichmann, 2019).

Quadro 3: Princípios de Planejamento de Infraestrutura Verde.

Princípios	Interpretação
Conectividade	Fundamental para a interação de espécies e diversidade, assim como para garantir valores e serviços de sistemas naturais. Tem como objetivo configurar uma rede bem conectada de espaços verdes em serviço das comunidades e outras espécies.

Multifuncionalidade	Conecta a infraestrutura verde a uma série de *serviços ecossistêmicos* (de provisão, regulação, suporte e cultural). Uma infraestrutura verde multifuncional deve ser capaz de prover múltiplas funções sociais, ecológicas e econômicas. Multifuncionalidade melhora a eficiência desses espaços.
Multiescalaridade	Da escala local à regional, o planejamento de infraestruturas verdes deve levar em conta todas as distintas escalas, a fim de que a interação entre os espaços possa ser melhorada.
Integração	Refere-se à interação e conexões entre infraestruturas verdes e demais infraestruturas urbanas – as chamadas infraestruturas cinzas. Normalmente esse princípio está associado ao manejo de águas pluviais e à mobilidade, entretanto, essa definição é redutiva. Enquanto princípio, a integração considera todas as conexões entre infraestruturas verdes e cinzas, assim como as interações entre paisagem e ambiente construído.
Diversidade	Refere-se à diversidade de soluções apresentadas para um problema. Considera as inúmeras tipologias de *soluções baseadas na natureza* que podem ser implementadas no ambiente urbano, e reforça o papel e a importância das *infraestruturas azuis* no planejamento de infraestruturas verdes.
Aplicabilidade	O planejamento de infraestruturas verdes deve considerar a aplicabilidade, adaptabilidade e a implementação dos projetos, levando em conta se os planos são realistas, passíveis de implantação e desenvolvimento, e se as soluções apresentadas são adaptáveis ou não à área considerada.
Governança	Objetiva a colaboração entre governos e cidadãos no processo de planejamento. Esse princípio detém grande importância para o desenvolvimento e implementação da infraestrutura verde, uma vez que áreas verdes provém uma grande gama de funções às pessoas, o gerenciamento e manutenção dependem diretamente da comunidade.
Continuidade	Para ser efetiva, infraestrutura verde requer constante investimento, gerenciamento e atualizações. Os planos devem conter sistemas de monitoramento bem definidos ou relatórios periódicos com a evolução dos projetos verdes planejados.

Fonte: Adaptado de Monteiro; Ferreira; Antunes (2020, p. 8–9).

Os princípios elencados precisam ser considerados e avaliados durante o planejamento e o gerenciamento de infraestruturas verdes (Mell, 2019), e a ênfase pela conectividade, física e funcional, bem como a abordagem em múltiplas escalas, evidenciam a influência de ideias chave da ecologia da paisagem no planejamento e projeto de IV para cidades sustentáveis (Ahern, 2007). Esses princípios têm como objetivo simplificar o desenvolvimento e o uso da IV, promovendo um modelo definido para o gerenciamento sustentável da paisagem (Monteiro; Ferreira; Antunes, 2020).

2.2.2 Multifuncionalidade da Infraestrutura Verde e os Serviços Ecossistêmicos

A paisagem é compreendida como um mosaico heterogêneo de ecossistemas que expressa a interação de processos naturais e humanos (Forman, 1995; Sant'Anna, 2020; Urban; O'Neill; Shugart, 1987). Nesse sentido, o princípio da multifuncionalidade no planejamento da paisagem e de infraestruturas verdes compreende uma visão integrada desses processos (Sant'Anna, 2020) e indica as múltiplas funções ecossistêmicas, ecológicas e socioeconômicas que a IV pode exercer em benefício das pessoas e dos ecossistemas (Korkou; Tarigan; Hanslin, 2023; Lovell; Taylor, 2013; Pauleit *et al.*, 2011).

As funções ecossistêmicas incluem as propriedades biológicas, de habitat e os processos ecossistêmicos que fornecem serviços ecossistêmicos (Costanza *et al.*, 1997). Esses serviços, por sua vez, são os benefícios, diretos ou indiretos, proporcionados às comunidades pelas funções ecossistêmicas (Costanza *et al.*, 1997; Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Os serviços ecossistêmicos são divididos entre serviços de provisão, serviços de regulação, serviços culturais e serviços de suporte (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), conforme disposto no Quadro 4.

Quadro 4: Categorias de Serviços Ecossistêmicos.

Serviços de Provisão	**Serviços de Regulação**	**Serviços Culturais**
Alimento Água Potável Lenha Fibra Bioquímicos Recursos Genéticos	Regulação climática Controle de doenças Regulação hidrológica Purificação da água Polinização	Espiritual e religioso Recreação e ecoturismo Estético Inspiracional Educacional Senso de pertencimento Herança cultural

Serviços de Suporte		
Formação do solo	Ciclagem de nutrientes	Produção primária

Fonte: Adaptado de Millennium Ecosystem Assessment (2005, p. 57, tradução nossa).

Os **serviços de provisão** são os produtos obtidos dos ecossistemas. Os **serviços de regulação** são os benefícios obtidos da regulação dos processos ecossistêmicos. Os **serviços culturais** são os benefícios imateriais obtidos dos ecossistemas. Já os **serviços**

de suporte são aqueles necessários para a produção de todos os outros serviços ecossistêmicos (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

O conceito de serviços ecossistêmicos contribui para a atribuição de valores às funções ecossistêmicas que, no planejamento da paisagem, são dividias em três categorias: abióticas, bióticas e culturais (Ahern, 2007). Essa divisão pode ser aplicada ao planejamento de infraestruturas verdes (Quadro 5), a fim de articular suas funções ecológicas chave em prol da sustentabilidade (Ahern, 2007). Embora serviços culturais sejam englobados no conceito de serviços ecossistêmicos, Ahern (2010) afirma que esses são frequentemente descritos como serviços culturais ou da paisagem, uma vez que se relacionam intimamente com processos e recursos biofísicos, como biodiversidade e regulação climática.

Quadro 5: Exemplos de serviços ecossistêmicos relacionados às funções abióticas, bióticas e culturais/da paisagem na Infraestrutura Verde Urbana.

Abióticos	Bióticos	Culturais/Da Paisagem
Interações superfície-água subterrânea	Habitat para espécies generalistas	Experiências diretas com ecossistemas naturais
Processo de desenvolvimento do solo	Habitat para espécies especializadas	Recreação / atividade física
Manutenção de regimes hidrológicos	Rotas para movimentação de espécies e corredores	Experiência e interpretação da história cultural
Ajuste aos regimes de perturbações	Manutenção de regimes de distúrbio e sucessão	Prover sensação de isolamento e inspiração
Ciclo natural de nutrientes	Produção de biomassa	Oportunidades para interações sociais saudáveis
Sequestro de carbono e gases do efeito estuda	Provisão de reservas genéticas	Estímulo à expressão artística
Modificação e amortecimento de extremos climáticos	Suporte à interação flora-fauna	Educação ambiental

Fonte: Adaptado de Ahern (2007, 2010).

Majoritariamente, os serviços ecossistêmicos urbanos são providos pela rede de áreas verdes que compõem a IV, além de cursos d'água fornecedores de "serviços ecossistêmicos azuis", que juntos são capazes de aumentar resiliência urbana, reduzindo temperaturas e manejando águas pluviais (Haase, 2015).

A Infraestrutura Verde e os serviços ecossistêmicos detêm um enorme potencial de aperfeiçoar o planejamento ambiental em áreas urbanas, compreendendo as dinâmicas e relações dos sistemas sociais e ecológicos (Hansen; Pauleit, 2014), e o planejamento de

IV, embasado por teorias e princípios ecológicos, reconhece a necessidade de um plano adaptativo para ecossistemas urbanos complexos (Pauleit *et al.*, 2011).

2.2.3 O papel da água na Infraestrutura Verde Urbana

> Água é fonte de vida, energia, conforto, e encanto, um símbolo universal de purificação e renovação. [...] Mais do que qualquer elemento, exceto árvores e jardins, água tem o maior potencial para forjar um elo emocional entre homem e natureza na cidade. [...] Pura, no lugar certo, e na hora certa, água é um recurso essencial; impura, e no lugar e hora errados, água é um perigo de vida (Spirn, 1984, p. 142, tradução nossa).

Ao longo de toda a história, civilizações tiveram que lidar com os desafios relacionados ao abastecimento e uso de água, à disposição do esgoto, à drenagem e à prevenção de inundações em zonas urbanas. Coletivamente, esses desafios receberam mais atenção de modo contínuo do que qualquer outro problema urbano (Spirn, 1984).

Dessa forma, para Pellegrino; Ahern (2023), a hidrologia é o principal processo balizador do planejamento da Infraestrutura Verde urbana, que evolui concomitantemente às políticas de promoção de sustentabilidade e resiliência urbana do século XXI. Nesse processo evolutivo, a água, provedora de múltiplos serviços ecossistêmicos, é vista como "[...] um recurso físico e ecológico chave/integrador, um mecanismo específico chave para adaptação às inundações e mudanças climáticas urbanas, e como um indicador de sustentabilidade e resiliência" (Pellegrino; Ahern, 2023, p. 53, tradução nossa).

As zonas urbanas estão cada vez mais vulneráveis às mudanças climáticas (IPCC, 2022), em especial no que diz respeito a episódios extremos de precipitação que ocasionam danos infraestruturais severos e contaminação de recursos hídricos (Herzog; Rosa, 2010; Kvamsås, 2021). Uma vez que desde os primórdios da urbanização, há milênios, as cidades sempre estiveram conectadas à água, Novotny; Ahern; Brown (2010a) identificam 4 paradigmas históricos (Quadro 6) que refletem a evolução do manejo de recursos hídricos pelas civilizações.

Quadro 6: Paradigmas Históricos de Manejo de Recursos Hídricos Urbanos.

Paradigma	Período	Caracterização
I – Suprimento básico de água	A.C. até a Idade Média	*Abastecimento de água:* poços *Águas pluviais:* drenagem superficial pelas ruas *Águas residuais:* escoamento superficial pelas ruas *Superfícies das ruas:* permeáveis ou semipermeáveis

II – Abastecimento de água e escoamento projetados	Roma e Grécia Antiga, algumas cidades europeias na Idade Média até Revolução Industrial (século XIX)	*Abastecimento de água:* poços e sistemas de distribuição de longa distância (Aquedutos – Roma) *Águas pluviais:* escoamento superficial e sistemas projetados de drenagem *Águas residuais:* pelas superfícies das ruas e sistemas projetados de esgotamento (sem tratamento) *Superfícies das ruas:* semipermeáveis (calçamento com pedras)
III – Escoamento rápido sem tratamento mínimo	Da segunda metade do século XIX na Europa e nos EUA até a segunda metade do século XX em países desenvolvidos. Ainda presente hoje em alguns países	*Abastecimento de água:* sistemas de abastecimento de longa distância *Águas pluviais:* implementação de coletores combinados *Águas residuais:* implementação de coletores combinados (sem tratamento ou com tratamento básico) *Superfícies das ruas:* impermeáveis (asfalto e concreto) *Canalização e tamponamento de rios e córregos urbanos*
IV – Escoamento rápido com tratamento de fim de tubo	Da aprovação do *Clean Water Act* nos EUA (1972) até o presente	*Abastecimento de água:* sistemas de abastecimento de longa distância com tratamento *Águas pluviais:* coletores combinados *Águas residuais:* coletores combinados regionalizados (implementação de regulamentações ambientais e tratamento obrigatório) *Superfícies das ruas:* impermeáveis *Crescente implementação de melhores práticas de manejo* *Início da redescoberta e renaturalização de cursos d'água*

Fonte: Adaptado de Novotny; Ahern; Brown (2010a).

Resultado dos investimentos alocados ao manejo de águas urbanas nos últimos 40 anos, as cidades possuem sistemas infraestruturais que são funcionais em condições normais, entretanto, são insustentáveis e geralmente vulneráveis frente a eventos extremos (Kvamsås, 2021; Novotny; Ahern; Brown, 2010a). É necessária, portanto, a implementação de um **quinto paradigma** de Gerenciamento Integrado de Recursos (*Integrated resource management* – IRM) (Allan, 2005) para o manejo de recursos hídricos, conectando cidades verdes e sua infraestrutura com drenagem e paisagens naturais (Novotny; Ahern; Brown, 2010b). A Infraestrutura Verde, guiada pela água, e compreendida como um sistema complexo capaz de se adaptar às dinâmicas e perturbações da paisagem (Pellegrino; Ahern, 2023), pode ditar esse novo paradigma (Novotny; Ahern; Brown, 2010b).

Essa busca por novas estratégias de manejo de recursos hídricos urbanos se tornou complexa nas últimas décadas, adotando, consequentemente, diferentes terminologias que descrevem princípios e práticas diversas, como: *Best Management Practices* (BMP – Melhores Práticas de Manejo) e *Low Impact Development* (LID – Desenvolvimento de Baixo Impacto) nos Estados Unidos; *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS – Sistemas de Drenagem Urbana Sustentáveis) no Reino Unido; *Compensatory Techniques* (CTs – Técnicas Compensatórias) na França e no Brasil; *Water Sensitive Urban Design* (WSUD – Design Urbano Sensível à Água) na Austrália, entre outras com objetivos em comum (Fletcher *et al.*, 2015; Santos; Enokibara, 2021).

O que essas abordagens compartilham como princípio, é o esforço pela mitigação dos impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico, representando, dessa forma, um rompimento com o paradigma antecessor, que buscava coletar e se dispor das águas pluviais o mais rápido possível (Bertrand-Krajewski, 2021; Santos; Enokibara, 2021).

Nesse sentido, a Infraestrutura Verde foi outra estratégia que emergiu a partir de reflexões acerca da importância da presença natureza nas cidades, da melhoria da qualidade das águas urbanas, da necessidade de reabilitação dos rios e córregos tamponados (Bertrand-Krajewski, 2021; Walmsley, 1995), e evoluiu, gradativamente, em direção ao quinto paradigma de gerenciamento sustentável da água no meio urbano (Pellegrino; Ahern, 2023).

2.3 INFRAESTRUTURA VERDE E AZUL

O gerenciamento sustentável de águas urbanas, em especial com relação às águas pluviais, torna-se cada vez mais desafiador, à medida que a expansão da urbanização resulta em vastas superfícies impermeáveis, particularmente em áreas suscetíveis a inundações, que alteram o curso hidrológico natural e são vulneráveis frente a episódios severos de precipitação (Brears, 2018; Kvamsås, 2021; Liao; Deng; Tan, 2017; Liu; Fryd; Zhang, 2019; Pochodyła; Glińska-Lewczuk; Jaszczak, 2021). O agravamento desses fenômenos meteorológicos, pelas mudanças climáticas e pela perda de áreas naturais permeáveis, aumenta o volume de escoamento superficial e a taxa de escoamento de pico, expõe a vulnerabilidade dos sistemas de drenagem convencionais, e degrada os ecossistemas aquáticos (Almaaitah *et al.*, 2021; Kvamsås, 2023; Liao; Deng; Tan, 2017).

Conforme mencionado anteriormente, a infraestrutura de drenagem convencional (cinza), composta por sistemas de galerias subterrâneas e coletores, é projetada para prevenir inundações locais e escoar águas pluviais o mais rápido possível (Bertrand-Krajewski, 2021; Brears, 2018; Novotny; Ahern; Brown, 2010a; Perini; Sabbion, 2017). Esses sistemas, sozinhos, são monofuncionais e não-adaptativos (Perini; Sabbion, 2017), suas limitações são amplamente reconhecidas, e as cidades vêm buscando por novas maneiras de lidar com esses desafios (Liao; Deng; Tan, 2017; Liu; Fryd; Zhang, 2019). A Infraestrutura Verde emergiu nos últimos anos como complemento, ou alternativa, à infraestrutura cinza (Liao; Deng; Tan, 2017).

A dinamicidade da paisagem urbana é caracterizada pela presença de elementos naturais (verdes e azuis) e construídos (cinzas), que, combinados, delimitam a forma das cidades (Ahmed; Meenar; Alam, 2019). O reconhecimento da importância dos sistemas naturais para o planejamento urbano despertou atenção para o conceito de IV (Liao, 2019) e, em literaturas mais recentes, observa-se que o uso da terminologia alternativa "Infraestrutura Verde e Azul" (IVA) tem aumentado (Mell, 2023) e ganhado força para designar as estratégias voltadas ao aumento da resiliência urbana frente às mudanças climáticas, isto é, a capacidade de adaptação das cidades (Perini; Sabbion, 2017).

Infraestrutura Verde e Azul é um termo estreitamente relacionado ao conceito de IV (Ahmed; Meenar; Alam, 2019; Ghofrani; Sposito; Faggian, 2017), utilizado para se referir à aplicação integrada de redes verdes e azuis para a mitigação dos impactos da urbanização (Almaaitah *et al.*, 2021). A IVA combina a IV com a Infraestrutura Azul (IA) (Pochodyła; Glińska-Lewczuk; Jaszczak, 2021), que se refere aos variados corpos hídricos no meio urbano, naturais ou artificiais, englobando rios, córregos, canais, lagos, lagoas, cachoeiras, pântanos e zonas costeiras (Völker *et al.*, 2013; Wu *et al.*, 2019).

Relativamente mais nova do que o termo IV, segundo Ahmed; Meenar; Alam (2019), a IVA foi descrita pela primeira vez por Frischenbruder; Pellegrino (2006) ao tratar dos esforços de planejamento realizados em São Paulo, a fim de criar uma rede de Infraestrutura Verde e Azul como resposta aos riscos de inundações identificados na cidade. A IVA pode ser compreendida como uma variedade da IV, propositalmente projetada e gerida para propiciar serviços ecossistêmicos hidrológicos, como tratamento e suprimento de água, mitigação de riscos de inundações e prover opções aquáticas de recreação (Liao, 2019; Liao; Deng; Tan, 2017). De acordo com Ghofrani; Sposito; Faggian (2016):

> IVA é uma rede interconectada de componentes da paisagem naturais e projetados, incluindo corpos hídricos e áreas verdes abertas, que provém múltiplas funções como: i) armazenamento de água para uso na irrigação e indústria; ii) controle de inundações; iii) zonas úmidas para habitat de vida selvagem ou tratamento de água, entre muitos outros (Ghofrani; Sposito; Faggian, 2016, p. 499, tradução nossa).

O propósito da IVA é, portanto, utilizar-se dos processos naturais para aprimorar a qualidade da água e bem como controlar sua quantidade, por meio do restauro das funções hidrológicas da paisagem urbana (Brears, 2018), configurando-se, assim, como uma importante ferramenta para adaptação às mudanças climáticas nas cidades (Ghofrani; Sposito; Faggian, 2017). O termo "infraestrutura" em IVA evidencia o papel fundamental dos sistemas de vegetação e de água no provimento de serviços ecossistêmicos essenciais às comunidades (Pochodyła; Glińska-Lewczuk; Jaszczak, 2021) e, ao incluir elementos verdes e azuis, a abordagem da IVA enfatiza o fato de que os ecossistemas terrestres e aquáticos são interconectados (Bertrand-Krajewski, 2021; Liao; Deng; Tan, 2017).

A IVA pode ser integrada aos sistemas "cinzas" convencionais de drenagem urbana (Ahmed; Meenar; Alam, 2019; Almaaitah *et al.*, 2021; Brears, 2018), e a abordagem incorpora conceitos de sistemas de drenagem sustentáveis (SUDS), melhores práticas de manejo (BMP), e de **soluções baseadas na natureza** multifuncionais (Kvamsås, 2021; Liao, 2019). À medida que as cidades adotam estratégias de adaptação climática, a IVA se torna fundamental para o futuro das zonas urbanas (Almaaitah *et al.*, 2021).

2.3.1 As Soluções Baseadas na Natureza

> A própria Natureza enfrentou muitos dos problemas que agora nos afligem e, geralmente, resolveu-os à sua maneira com sucesso. Onde o homem foi inteligente o suficiente para observar e emular a Natureza, ele também foi frequentemente recompensado com sucesso (Carson, 1962, p. 81, tradução nossa).

Internacionalmente, em especial entre os países membros da União Europeia (UE), outra abordagem estratégica para o enfrentamento das mudanças climáticas vem ganhando força nos últimos anos: o conceito das Soluções baseadas na Natureza (SbN), em inglês, *Nature-based Solutions* (NBS) (Fraga, 2020).

O conceito de SbN foi introduzido ao final dos anos 2000, em publicações do Banco Mundial (*World Bank*) (MacKinnon; Sobrevila; Hickey, 2008) e da União Internacional para a Conservação da Natureza (*International Union for Conservation of Nature*) (IUCN, 2009), e foi utilizado para enfatizar a importância da conservação da biodiversidade para a mitigação

de impactos e a adaptação às mudanças climáticas (Pauleit *et al.*, 2017). Nesse sentido, o conceito de SbN está intimamente relacionado a outras abordagens que surgiram nas últimas décadas, e que enfatizam a necessidade de preservação da natureza para o planejamento urbano (Eggermont *et al.*, 2015; Grimm *et al.*, 2023; Pauleit *et al.*, 2017).

As SbN foram promovidas pela IUCN como parte de estratégias e planos mais amplos de mitigação e adaptação climática (IUCN, 2009) e, tendo surgido em meio a pesquisas de organizações internacionais nas áreas ambientais e de conservação da natureza (Fraga, 2020), o termo foi rapidamente adotado pela esfera de políticas públicas da Comissão Europeia (Eggermont *et al.*, 2015) que, em 2015, definiu as SbN como:

> [...] ações inspiradas, apoiadas ou copiadas da natureza [...] utilizam as características e os complexos processos sistêmicos da natureza, como sua habilidade de armazenar carbono e regular fluxos hídricos, de modo a atingir objetivos desejados, como a redução do risco de desastres e um ambiente que melhora o bem-estar humano e o crescimento sustentável socialmente inclusivo [...] (Comissão Europeia, 2015, p. 24, tradução nossa).

Ao tomar a natureza como inspiração, as SbN adotam princípios ecossistêmicos como base fundamental para seus projetos, a fim de recuperar processos e fluxos naturais, aprimorando o ambiente urbano em distintos níveis (Herzog; Rozado, 2019). O conceito tem sido amplamente utilizado (Cohen-Shacham *et al.*, 2016), a exemplo, a IUCN apresenta uma definição bastante próxima à utilizada pela Comissão Europeia:

> Soluções baseadas na Natureza são definidas como ações para proteger, gerenciar de modo sustentável, e restaurar ecossistemas naturais ou modificados, que abordam desafios sociais de forma efetiva e adaptativa, promovendo, simultaneamente, bem-estar humano e benefícios à biodiversidade (Cohen-Shacham *et al.*, 2016, p. 5, tradução nossa).

Atualmente, as SbN são entendidas como um "conceito guarda-chuva" inclusivo que compreende uma variedade de abordagens ecossistêmicas já estabelecidas, englobando os serviços ecossistêmicos e a Infraestrutura Verde e Azul (Cohen-Shacham *et al.*, 2016; Ferreira *et al.*, 2020; McPhearson; Kabisch; Frantzeskaki, 2023; Pauleit *et al.*, 2017). Ambos os conceitos, de IVA e SbN, enfatizam os benefícios propiciados pela natureza, e vêm sendo utilizados de modo intercambiável, como sinônimos (Nesshöver *et al.*, 2017; Pochodyła; Glińska-Lewczuk; Jaszczak, 2021).

Por outro lado, as SbN materializam as tipologias de IVA em propostas para locais e territórios (Schenk, 2022b). Sob essa ótica, as SbN compõem as redes de IVA (Sant'Anna,

2022) que, por sua vez, combinam infraestruturas cinzas convencionais com as Soluções baseadas na Natureza de maneiras inovadoras, em estratégias de verdejamento das cidades (Pellegrino; Ahern, 2023; Sant'Anna, 2022).

2.3.2 Dispositivos de Infraestrutura Verde e Azul na estruturação da paisagem urbana

Em meio urbano, a IVA integra soluções com grandes valores paisagísticos voltadas à melhoria na gestão hídrica (Pochodyła; Glińska-Lewczuk; Jaszczak, 2021), prevenindo, assim, alagamentos e aprimorando a qualidade dos sistemas de drenagem. Para tanto, se utiliza de elementos verdes e azuis, descentralizados, e que mimetizam os processos hidrológicos naturais (Cormier; Pellegrino, 2008; Liu; Fryd; Zhang, 2019). Esses dispositivos/soluções envolvem uma grande variedade de sistemas paisagísticos baseados em funções ecossistêmicas (Liao; Deng; Tan, 2017) e podem ser classificados, de forma geral, de acordo com sua função, posição e escala (Cruijsen, 2015; Ghofrani; Sposito; Faggian, 2017).

Quanto à função, os dispositivos de IVA são categorizados de acordo com sua contribuição para o escoamento de águas pluviais, e de que forma o fazem, sendo diferenciados entre componentes de detenção e de retenção (Cruijsen, 2015; Ghofrani; Sposito; Faggian, 2017).

> Componentes de detenção podem armazenar água durante episódios extremos de precipitação e gradualmente descarregar nos sistemas de galerias. Por outro lado, componentes de retenção podem armazenar água e gradualmente infiltrar no solo sem qualquer conexão com o sistema de galerias (Ghofrani; Sposito; Faggian, 2017, p. 19–20, tradução nossa).

Os componentes de retenção são diferenciados em dois subgrupos: retenção por infiltração e retenção por armazenamento. Medidas de retenção por infiltração, como o nome sugere, infiltram a água diretamente e sem contê-la. Já medidas de retenção por armazenamento são bacias naturais de armazenamento de água e que dispõem de baixa capacidade de infiltração (Cruijsen, 2015; Ghofrani; Sposito; Faggian, 2017).

A segunda categorização dos componentes de IVA diz respeito à posição/localização do dispositivo, diferenciando-os em: na superfície, no subsolo, e acima do solo. Medidas de superfície são aquelas locadas sobre o solo, no nível térreo, são elementos tratados paisagisticamente e que impactam positivamente a qualidade de vida

local. Medidas de subsolo são componentes construídos abaixo da superfície, tipicamente embaixo de espaços públicos ou construções pré-existentes. Já medidas acima do solo são componentes como telhados e fachadas verdes (Cruijsen, 2015; Ghofrani; Sposito; Faggian, 2017).

Por fim, a terceira categoria de distinção de componentes de IVA é a escala em que esses podem ser implantados, sendo: escala privada (do lote), da rua, do bairro, ou da cidade/região. Na escala do lote, a IVA toma partido de elementos como jardins privados e telhados verdes e azuis; na escala da rua e do bairro, a IVA compreende dispositivos como pavimentos permeáveis e armazenamento de água subterrâneo; e na escala da cidade/região, a IVA engloba parques, zonas protegidas, áreas de agricultura urbana, bacias de retenção e detenção, entre outros (Cruijsen, 2015; Ghofrani; Sposito; Faggian, 2017).

A Tabela 1, adaptada de Cruijsen (2015), condensa e apresenta tipologias de IVA quanto suas classificações.

Tabela 1: Classificação dos dispositivos de Infraestrutura Verde e Azul.

	Nível da rua (superfície)	**Subsolo**	**Acima do solo**
Retenção por Infiltração	Parques e florestas urbanas; agricultura urbana; canteiros pluviais; jardins de chuva; biovaletas; pavimentos permeáveis; árvores de controle pluvial	Armazenamento subsolo com capacidade de retenção	Fachadas verdes; árvores; telhados verdes
Retenção por Armazenamento	Alagados urbanos; armazenamento sazonal de águas pluviais; bacias de armazenamento por retenção		Tanques de águas pluviais
Detenção	Praças inundáveis; lagoas de detenção de superfície	Tanques de armazenamento subterrâneos	Telhados azuis

Fonte: Adaptado e traduzido de Cruijsen (2015, p. 51)

A seguir, são detalhadas algumas das tipologias de IVA mais utilizadas por sistemas sustentáveis de manejo de águas pluviais, que combinam conhecimentos de processos hidrológicos e hidrodinâmicos (Pochodyła; Glińska-Lewczuk; Jaszczak, 2021). Dentre as inúmeras existentes, essas são algumas das que detêm maior potencial paisagístico (Cormier; Pellegrino, 2008).

- **Jardim de Chuva**

Jardins de chuva (Fig. 11 e 12) (*rain gardens*) são leves depressões topográficas, tratadas paisagisticamente, destinadas à coleta e ao tratamento de águas pluviais de superfícies impermeáveis ao seu redor como telhados, ruas e passeios públicos (Brears, 2018; Cormier; Pellegrino, 2008; Liao; Deng; Tan, 2017). São caracterizados como sistemas de biorretenção (Cruijsen, 2015; Perini; Sabbion, 2017) e o escoamento superficial é tratado por meio de filtragem, sedimentação e absorção por plantas e microrganismos (Cormier; Pellegrino, 2008; Liao; Deng; Tan, 2017).

Figura 11: Exemplo jardim de chuva.

Fonte: Cormier; Pellegrino (2008, p. 129).

Figura 12: Esquema jardim de chuva.

Fonte: Sandre; Pellegrino (2021, p. 10)

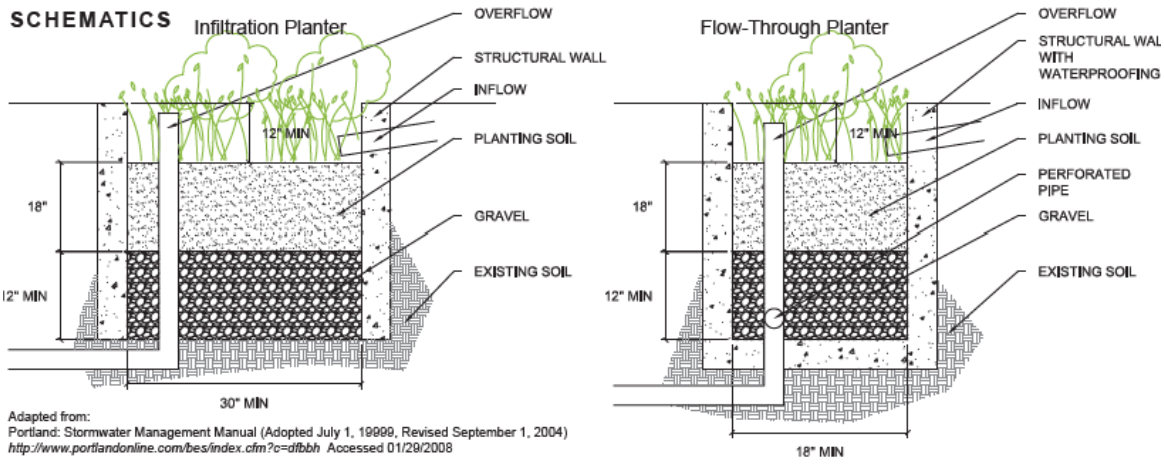
De maneira geral, os jardins de chuva são compostos pelo meio de filtragem (solo) e por vegetação (Liao; Deng; Tan, 2017). O solo age como uma esponja para infiltrar a água, ao passo que as plantas e microrganismos removem os poluentes carregados pelo escoamento superficial (Cormier; Pellegrino, 2008). Dispositivos de baixo custo e fácil implantação, são ideais para calçadas, pátios residenciais, fachadas comerciais e estacionamentos, em variadas escalas (Cruijsen, 2015; Sandre, 2022). Seu correto dimensionamento prevê que, algumas horas após os eventos de precipitação, não deva mais haver água parada em sua superfície (Cormier; Pellegrino, 2008).

- **Canteiro Pluvial**

Canteiros pluviais (Fig. 13) (*stormwater planters, infiltration planters, flow-through planters*) (CRWA, 2008) são, de modo geral, jardins de chuva compactados em pequenos e limitados espaços urbanos (Cormier; Pellegrino, 2008). Atuam como sistemas de

biorretenção que coletam e filtram águas pluviais, posteriormente infiltrando-as no solo ou, quando não possível infiltração, são dotados de extravasores (Cormier; Pellegrino, 2008; CRWA, 2008; Sandre, 2022).

Figura 13: Canteiro pluvial esquemático.



Fonte: CRWA (2008).

Dispositivos de baixo custo de implementação (Sandre, 2022), os canteiros pluviais são ideais para compor com diversos tipos de áreas ou edificações, inclusive em zonas densamente urbanizadas (Cormier; Pellegrino, 2008). Esses flexíveis sistemas de IVA, que requerem pouco espaço para serem implantados, apresentam, entre outros benefícios, a redução no volume e tratamento de escoamento superficial, o aumento da infiltração no solo, e a melhora estética local (CRWA, 2008).

- **Biovaleta**

Semelhantes aos jardins de chuva, as biovaletas (Fig. 14) (*bio retention swales*) são sistemas de biorretenção (Cormier; Pellegrino, 2008; Liao; Deng; Tan, 2017), caracterizados como rasas depressões lineares, valas ou canais, de solo poroso e elementos filtrantes, e preenchidos com vegetação (Brears, 2018; Cormier; Pellegrino, 2008; Cruijsen, 2015).

Figura 14: Exemplo e esquema de uma biovaleta.

Fonte: Silveira (2024).

Compostas por sistemas ligados em série acompanhando a declividade do terreno (Cormier; Pellegrino, 2008), as biovaletas, normalmente implantadas ao longo de vias ou estacionamentos, desaceleram o escoamento superficial ao mesmo tempo que atuam no processo de purificação da água antes de alcançar os corpos hídricos receptores (Brears, 2018; Liao; Deng; Tan, 2017). Ao longo desse percurso, contribuem para a sedimentação (Cormier; Pellegrino, 2008) e, embora importantes no processo de filtragem, sozinhas, as biovaletas não são capazes de atender padrões de qualidade de tratamento de águas pluviais (Brears, 2018; Liao; Deng; Tan, 2017).

As biovaletas dirigem o fluxo de escoamento aos jardins de chuva e, quando o nível de água atinge determinado limite projetado, esse fluxo é direcionado a sistemas convencionais de galerias de retenção e detenção de águas pluviais, aos quais são integradas (Cormier; Pellegrino, 2008; Cruijsen, 2015). Esses dispositivos de IVA tem papel importante na preservação da biodiversidade e na melhoria da qualidade ambiental local (Cruijsen, 2015).

- **Lagoa Pluvial**

As lagoas pluviais (*retention ponds, retention basins*) (Fig. 15 e 16) são dispositivos de retenção de águas pluviais (Sandre, 2022) que, durante eventos de precipitação, recebem o escoamento superficial por meios de drenagens naturais ou convencionais (Cormier; Pellegrino, 2008).

Figura 15: Lagoa Pluvial em Seatle.

Fonte: Cormier; Pellegrino (2008, p. 142).

Figura 16: Exemplo de Lagoa Pluvial.

Fonte: Cruijsen (2015, p. 126).

As lagoas pluviais se caracterizam como lagos artificiais, uma vez que essas tipologias paisagísticas mantêm, permanentemente, uma lâmina de água captada entre os eventos de precipitação (Cormier; Pellegrino, 2008; Cruijsen, 2015; Sandre, 2022). São soluções de retenção e diferem-se, portanto, de lagoas e bacias de detenção que, no período de estiagem, mantêm-se secas (Liao; Deng; Tan, 2017; Sandre, 2022). Dado seu tamanho, a lagoa pluvial é uma tipologia de IVA que requer uma área consideravelmente maior para sua implantação, em comparação com os dispositivos de retenção apresentados anteriormente (Cormier; Pellegrino, 2008).

Corpos hídricos abertos, as lagoas pluviais armazenam água e desaceleram o escoamento superficial durante as chuvas, prevenindo, assim, erosão à jusante, preservando e melhorando a qualidade da água (Cruijsen, 2015). Além desses benefícios, esses dispositivos podem desempenhar múltiplas funções valiosas como: prover habitat para vida selvagem, beneficiando a biodiversidade; criar espaços de recreação e lazer; e valorizar, esteticamente, seu entorno (Cormier; Pellegrino, 2008; Cruijsen, 2015; Liao; Deng; Tan, 2017).

CAPÍTULO 03 – APLICABILIDADE DA INFRAESTRUTURA VERDE E AZUL NO MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAS

O presente capítulo se coloca a investigar, sistematizar e analisar estratégias metodológicas para a implementação de Infraestrutura Verde e Azul (IVA) com foco no manejo de recursos hídricos, em especial, de águas pluviais. A partir de uma abordagem sistemática de revisão da literatura científica recente, almeja-se compreender a aplicabilidade, os avanços, e os desafios associados à essas estratégias, buscando, portanto, atingir o objetivo geral da pesquisa de mestrado.

O capítulo está organizado em cinco seções. Na primeira, é apresentado o procedimento metodológico para as buscas, identificação, seleção e caracterização dos artigos analisados na revisão sistemática da literatura. Em seguida, na segunda seção, uma análise bibliométrica dos artigos oferece uma visão abrangente das tendências temporais, geográficas e temáticas identificadas. Na terceira seção são abordados os desafios enfrentados na implementação de IVA. A quarta seção apresenta as principais metodologias empregadas no planejamento de IVA, que são, então, analisadas e classificadas por escala de aplicação e abordagens analíticas. Por fim, a quinta seção sintetiza as estratégias observadas, sistematizando um quadro metodológico integrador.

3.1 METODOLOGIA

À luz de alcançar o objetivo proposto, para a elaboração deste capítulo da dissertação adotou-se como procedimento metodológico uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), que se compreende como "[...] uma modalidade de pesquisa, que segue protocolos específicos, e que busca entender e dar alguma logicidade a um grande corpus documental" (Galvão; Ricarte, 2019, p. 58).

Com foco em seu caráter de reprodutibilidade por outros pesquisadores, a RSL apresenta, de maneira explícita, as bases de dados consultadas, quais estratégias de buscas foram empregadas e os critérios de inclusão e exclusão adotados no processo de seleção dos artigos (Galvão; Ricarte, 2019), sendo, portanto, reconhecida por sua capacidade de proporcionar um panorama abrangente e consistente do estado da arte em uma determinada área de pesquisa.

Dessa forma, no presente trabalho, a RSL foi adotada como abordagem de pesquisa visando identificar e sistematizar as metodologias aplicadas ao planejamento e projeto de IVA no contexto internacional.

- **Processo de Busca e Seleção de Artigos**

Para a coleta de dados, foram utilizadas as bases acadêmicas internacionais *Scopus* e *Web of Science* (Wos). Essas plataformas foram selecionadas devido à abrangência e relevância que dispõem, indexando um amplo espectro de periódicos científicos de alta qualidade. Com base em uma revisão bibliográfica preliminar, adotou-se como termo de busca a palavra-chave "*blue-green infrastructure*". A pesquisa foi efetuada pela presença do termo exato em títulos, palavras-chave e resumos.

Na base *Scopus*, realizou-se a busca por:

TITLE-ABS-KEY "blue-green infrastructure"

Onde: TITLE refere-se ao título do documento, ABS ao resumo (*abstract*) e KEY às palavras-chave (*key words*).

Já na base WoS, por não ser possível pesquisar pelos três campos pretendidos em uma única *string* combinada, foi necessária a utilização do operador booleano OR, assim, a busca se deu por:

TI = "blue-green infrastructure" OR AB = "blue-green infrastructure" OR AK = "blue-green infrastructure"

Onde: TI refere-se aos títulos dos documentos, AB aos resumos, e AK às palavras-chave utilizadas pelos autores (*author key words*).

Realizadas no dia 13 de março de 2024, as buscas não foram limitadas por data de publicação, e retornaram 357 registros no *Scopus* e 248 registos no WoS, totalizando 605 documentos. Os metadados gerados pelos repositórios foram exportados e carregados no *software* gerenciador de referências *Mendeley Reference Manager*. Inicialmente, 221

duplicatas e 12 documentos com metadados incompletos ou não identificados foram removidos, resultando em 372 documentos que passaram pelo processo de triagem que foi conduzido em três etapas, seguindo os critérios de inclusão e exclusão delimitados:

Critérios para Inclusão dos estudos:

- Artigo em periódico com Revisão por Pares;
- Infraestrutura Verde e Azul aplicada à gestão de águas pluviais;
- Apresentação de resultados empíricos e metodologia clara para aplicação;
- Acesso ao texto completo aberto ou via plataforma Periódicos Capes.

Critérios para Exclusão dos estudos:

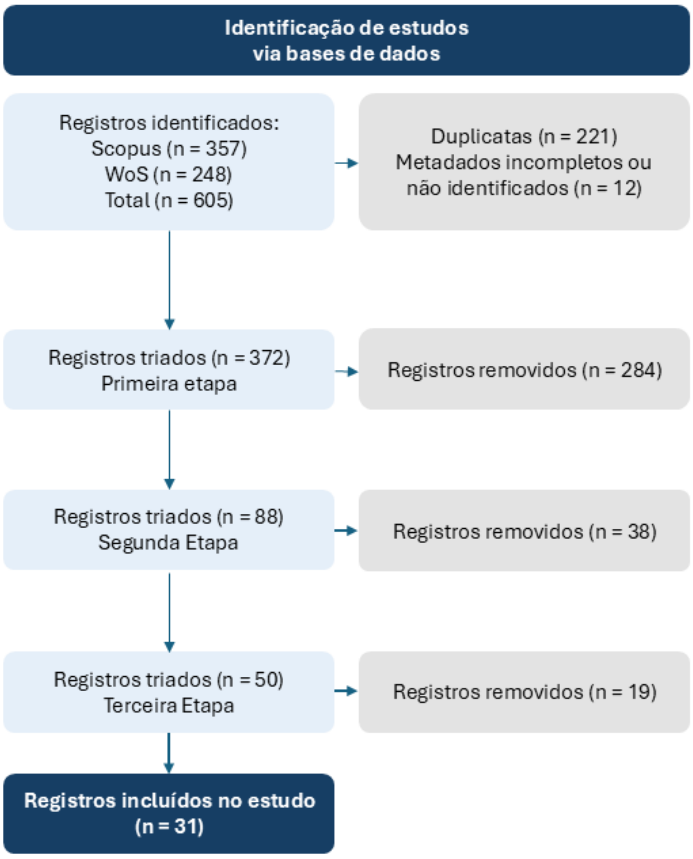
- Artigo apenas de Revisão de Literatura;
- Não apresentar resultados empíricos ou clara metodologia para aplicação de IVA para gestão de águas pluviais;
- Sem condições de acesso ao texto completo.

1. **Primeira Etapa – Avaliação por título:** nesta etapa, foram avaliados os títulos dos 372 documentos a fim de verificar a aderência ao tema de pesquisa. Foram excluídos 284 documentos por falta de relação direta com a IVA e manejo e águas pluviais ou por abordarem temas tangenciais. Após essa etapa, 88 documentos permaneceram para a segunda fase de triagem.
2. **Segunda Etapa – Avaliação por título, resumo e palavras-chave:** os 88 documentos restantes foram avaliados com bases em seus títulos, resumos e palavras-chave. Nesta etapa, 11 registros foram excluídos por falta de aderência ao objetivo da pesquisa, 7 foram excluídos por não apresentarem resultados empíricos ou metodologia clara utilizada na implementação de IVA, 8 foram excluídos por se tratar apenas de artigos de revisão conceitual sobre a IVA, e 12 foram excluídos por falta de acesso ao texto completo. Restaram 50 documentos direcionados à última etapa de triagem.
3. **Terceira Etapa – Leitura Completa:** nesta etapa, dos 50 registros selecionados para leitura completa, 4 não foram identificados em acesso aberto *online*

sendo, portanto, excluídos do processo. Após a leitura dos 46 documentos restantes, 15 foram excluídos por não apresentarem resultados empíricos ou metodologias para implementação de IVA, resultando, assim, nos 31 artigos que compõem o corpus de análise do presente trabalho.

O processo seleção dos artigos incluídos na Revisão Sistemática da Literatura obedeceu aos protocolos estipulados pela declaração dos Principais Itens para Relatar Revisões Sistemáticas e Meta-análises – PRISMA, 2020 - (Page *et al.*, 2022), e está ilustrado, a seguir, pela Figura 17.

Figura 17: Procedimento metodológico para a seleção de artigos para o estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 MACROTENDÊNCIAS IDENTIFICADAS

Nesta seção do trabalho, são apresentados os resultados de uma análise bibliométrica realizada a fim de examinar o corpus dos 372 artigos coletados inicialmente. A bibliometria, conforme Pitchard (1969), trata-se da aplicação de métodos matemáticos e estatísticos em estudos que visam a quantificação de processos de comunicação escrita.

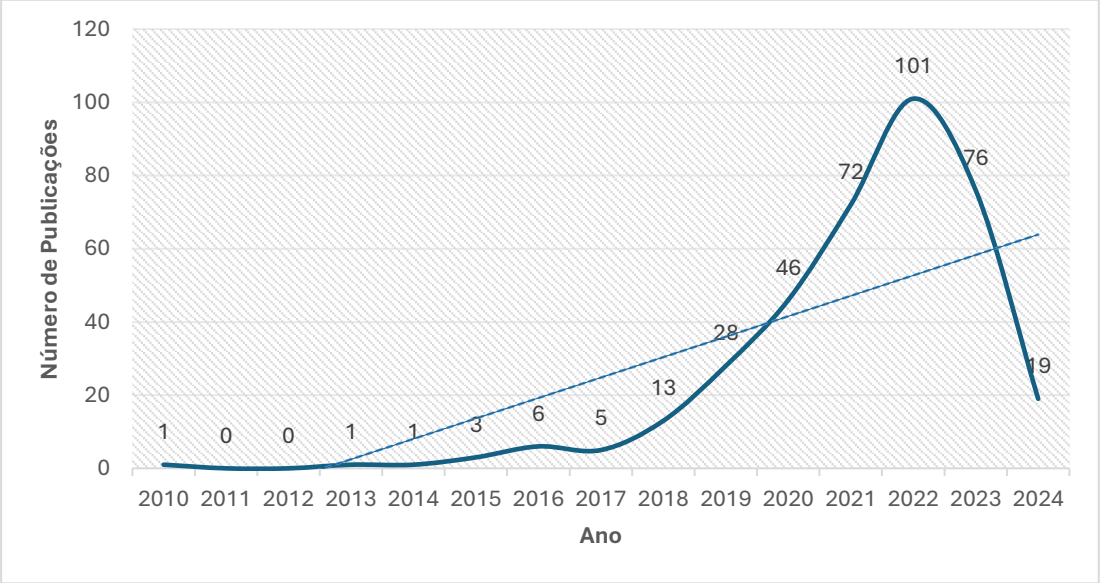
Enquanto método quantitativo de pesquisa, a bibliometria pode ser utilizada para "[...] mapear origens dos conceitos existentes, apontar as principais lentes teóricas usadas para investigar um assunto e levantar as ferramentas metodológicas utilizadas em trabalhos anteriores" (Chueke; Amatucci, 2015, p. 1).

Dessa forma, colaborando com a sistematização de pesquisas previamente realizadas (Chueke; Amatucci, 2015), a bibliometria se mostra como uma poderosa técnica para identificação de macrotendências em estudos e lacunas de pesquisa. Na sequência desta seção, são apontadas as tendências observadas nos estudos em IVA.

- **Tendências Temporais**

O primeiro registro utilizando o termo "*blue-green infrastructure*" foi identificado no ano de 2010 e, até 2014, a produção bibliográfica sobre a temática foi bastante tímida, sendo encontradas apenas 3 publicações. O crescente interesse pelo tema Infraestrutura Verde e Azul ao longo da última década é refletido pela distribuição temporal dos artigos encontrados (Fig. 18), em especial a partir de 2015, ano em que é possível notar-se um aumento na publicação de estudos sobre IVA. Esse aumento coincide com a consolidação de um compromisso global no combate às mudanças climáticas.

Figura 18: Número de publicações sobre IVA encontradas por ano.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A popularização da abordagem tem ganhado força como uma resposta aos desafios das cidades (Perrelet *et al.*, 2024) e a pandemia de COVID-19 expôs profundas

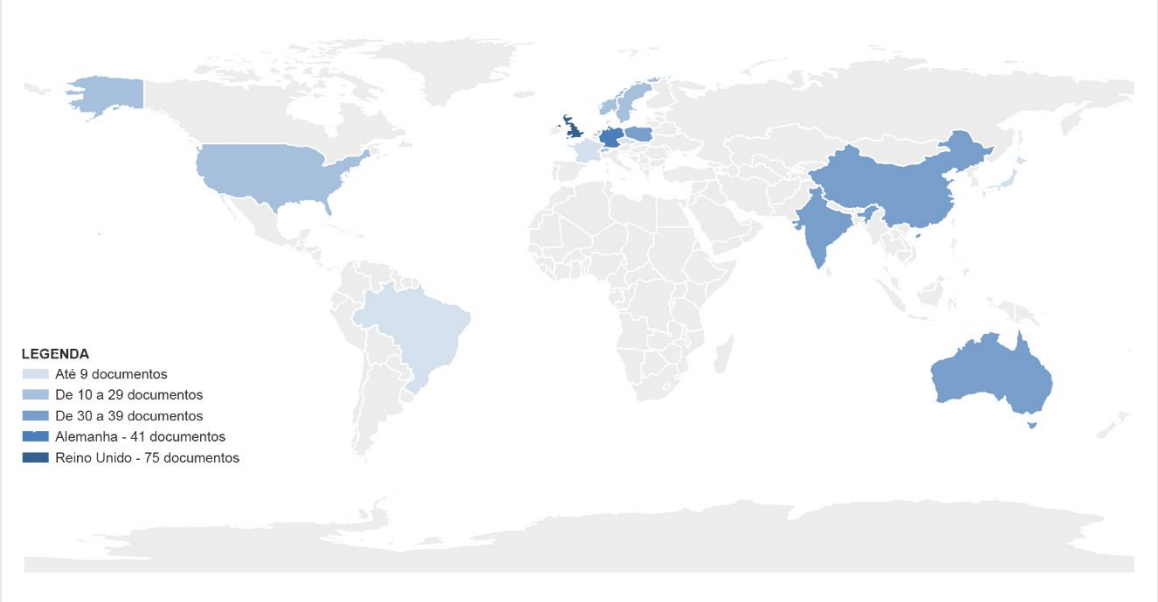
vulnerabilidades nas estruturas urbanas e nas dinâmicas sociais, evidenciando conceitos como resiliência e adaptação como indispensáveis ao planejamento e governança das cidades (Valente de Macedo *et al.*, 2022). Diante deste cenário, é possível observar a partir de 2020 uma intensificação na produção de literatura sobre IVA, com pico no ano de 2022, que registrou 101 publicações totais.

O baixo número de registros identificados no ano de 2024, por sua vez, está relacionado ao período em que as buscas foram realizadas, em março, traz o número de publicações apenas do primeiro trimestre do ano e não reflete, de maneira alguma, uma brusca queda no interesse sobre o tema.

- **Tendências Geográficas**

A distribuição geográfica dos estudos (Fig. 19) reflete uma predominância de pesquisas realizadas em nações europeias. Reino Unido e Alemanha, com 75 e 41 registros respectivamente, são os países com maior número de publicações. Polônia (32 registros), Suécia (18), Suíça (18) e Países Baixos (16) são os outros europeus que integram o *ranking* de 10 países que mais publicam sobre o tema.

Figura 19: Distribuição geográfica das publicações em IVA.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Um dos fatores para a predominância de países europeus na produção científica sobre IVA pode ser atribuído às políticas públicas e diretrizes da União Europeia, como as

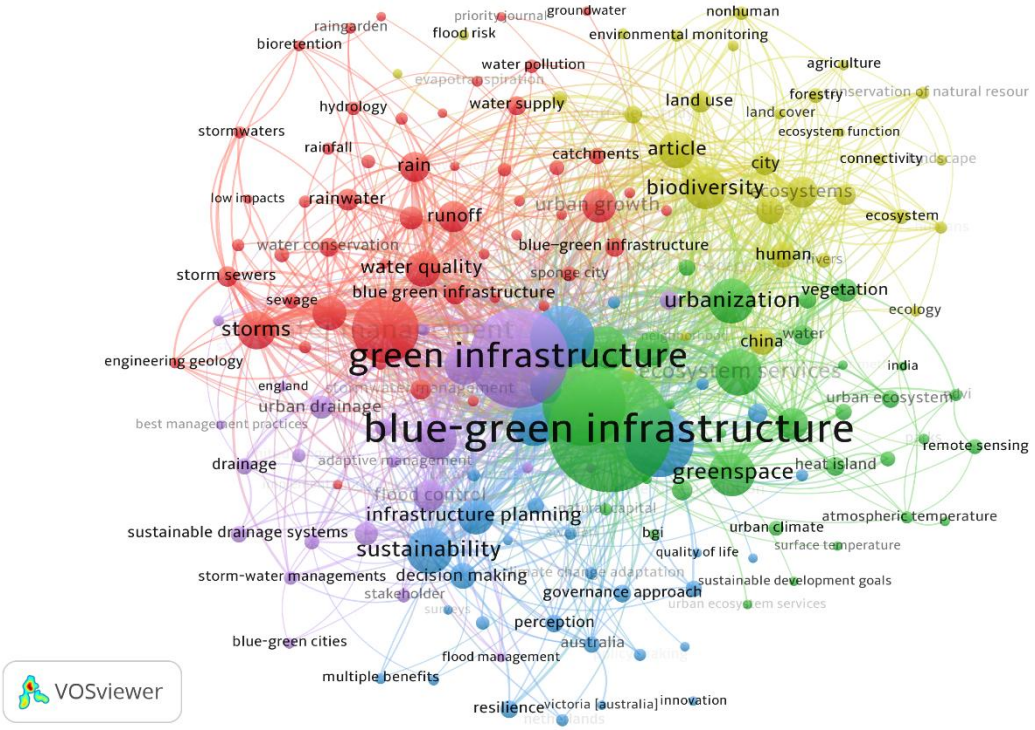
agendas estabelecidas para Infraestrutura Verde (Comissão Europeia, 2013) e Soluções baseadas na Natureza (Comissão Europeia, 2015). Noruega (13 registros), República Tcheca (9), Dinamarca (9) e França (8) são outros europeus destacados.

Contudo, como reflexo do interesse global pela IVA, países não europeus têm apresentado uma importante contribuição à produção científica sobre o tema, com destaque para a China com 36 registros, seguida por Austrália (31), Índia (30), Estados Unidos (28) e Japão (9). O Brasil figura como 15º país com maior número de registros encontrados no período, com 8 documentos publicados.

- **Tendências Temáticas**

Dando sequência à análise, utilizou-se *software open source* VOSviewer, ferramenta utilizada para a visualização e construção de redes bibliométricas. Os metadados do total dos 372 registros triados na primeira etapa foram carregados no programa. No total, 2751 palavras-chave foram identificadas na literatura coletada, e dessas, 170 repetiram-se em no mínimo 5 publicações da amostra, e compõem a rede de co-ocorrência de palavras-chave ilustrada pela Figura 20.

Figura 20: Rede de co-ocorrência de palavras-chave.



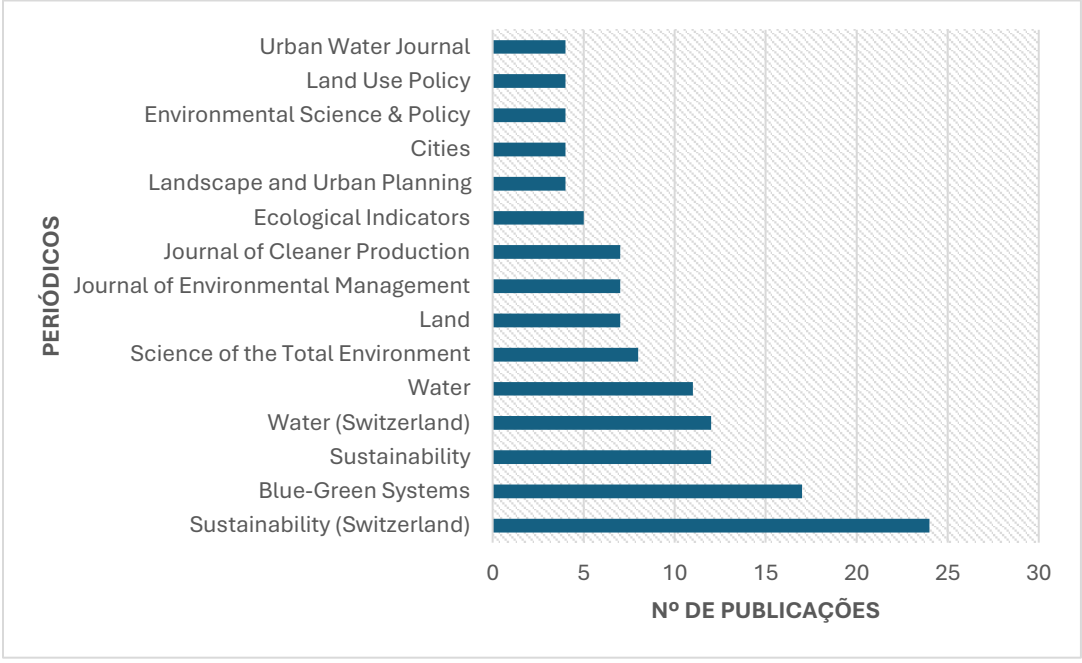
Fonte: Elaborado pelo autor.

Essa análise permitiu identificar os diferentes campos de pesquisa que estão envolvidos pela temática. A rede de co-orrência de palavras-chave os distinguiu em 5 grupos (*clusters*): no primeiro (vermelho), os termos mais recorrentes foram "*water management*" "*storms*" e "*water quality*"; no segundo (amarelo), "*biodiversity*", "ecosystems" e "city" foram as palavras-chave mais utilizadas; no terceiro (verde), "*blue-green infrsatructure*" aparece como o termo mais popular, seguido por "*climate change*" e "*ecosystem services*"; no quarto grupo (azul), as palavras-chave mais utilizadas foram "*urban planning*", "*urban area*" e "*urbanization*"; por fim, no quinto e último grupo (lilás), "*green infrastructure*", "*floods*" e "*flood control*" foram os termos mais populares.

Outras palavras como "*sustainable development*", "*nature-based solutions*" e "*infrastructure planning*" apareceram entre os termos mais recorrentes. Esses dados evidenciam que, internacionalmente, na literatura atual, a Infraestrutura Verde e Azul está intimamente ligada às iniciativas voltadas à resiliência urbana, destacando-se a preocupação com o planejamento urbano, a adaptação climática nas cidades, o manejo sustentável de águas pluviais, a integração urbano-ecológica e a promoção de serviços ecossistêmicos à população.

Essa questão pode também ser constatada a partir da verificação dos periódicos onde os artigos vêm sendo divulgados. A Figura 21, disposta a seguir, ilustra os 15 periódicos com maior número total de publicações sobre o tema.

Figura 21: Periódicos com maior número de publicações sobre IVA.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Todos esses periódicos compartilham o interesse em questões relacionadas ao planejamento urbano, à gestão ambiental e sustentabilidade e, a relação entre eles é marcada pela complementaridade temática. Observam-se entre eles as semelhanças de escopos: gestão de águas urbanas e sistemas de drenagem sustentável; políticas de uso do solo e sua relação com a Infraestrutura Verde e Azul; ciência ambiental e políticas públicas; IVA como solução para desafios climáticos; resiliência urbana; desenho de paisagens urbanas; preservação de áreas naturais; e IVA como estratégia de desenvolvimento sustentável.

Dada a complexidade e a abrangência da pesquisa sobre IVA, esses periódicos formam uma rede de conhecimento que dá suporte à sua implementação, e essas recorrentes tendências identificadas concebem um referencial para se compreender os direcionamentos de pesquisas existentes sobre a aplicação da IVA ao planejamento e projeto da paisagem urbana.

3.3 DESAFIOS À IMPLEMENTAÇÃO DE IVA

A Revisão Sistemática da Literatura revelou que a implementação da Infraestrutura Verde e Azul pode esbarrar em desafios que comprometem sua viabilidade e eficácia. Dentre os 31 estudos aqui analisados, quatro artigos abordaram especificamente a identificação de barreiras para a adoção da IVA. Esses trabalhos evidenciaram obstáculos institucionais, sociais, econômicos e técnicos (Deely *et al.*, 2020; Drosou *et al.*, 2019; O'Donnell; Lamond; Thorne, 2017; Thorne *et al.*, 2018), assim como estratégias para superá-los.

Deely et al. (2020), mediante uma revisão sistemática em 40 artigos, identificaram 25 barreiras comuns à implementação de Infraestrutura Verde e Azul, que foram organizadas em cinco categorias: **institucional e de governança**, como a falta de liderança clara e visão a longo prazo para a IVA; **sociocultural**, relacionadas à percepção da IVA pelas partes interessadas; **conhecimento**, relativas ao entendimento limitado quanto ao funcionamento e benefícios da IVA; **técnicas e biofísicas**, como desafios de projeto e manutenção desses sistemas; e **financeiras e de mercado**, como custos iniciais elevados e ausência de oportunidades de financiamento. Embora não proponham soluções diretas para tais desafios, os autores oferecem uma ferramenta para diagnóstico local de possíveis obstáculos (Deely *et al.*, 2020).

Drosou et al. (2019), por sua vez, empregaram outra abordagem para identificar barreiras à adoção de IVA no contexto de cidades em desenvolvimento. Em Semarang, Indonésia, os autores combinaram entrevistas semiestruturadas (30 residentes e 8 representantes de autoridades locais), questionários (180 residentes) e oficinas com grupos focais (41 participantes), e identificaram desafios como: **resistência a abordagens não convencionais**, por não serem vistas como "comprovadas"; **desconhecimento técnico** por parte de gestores e comunidade; **fragilidade legislativa**, vista a ausência de legislação clara para adoção, operação e manutenção de sistemas de IVA; e **incertezas técnicas** quanto ao desempenho dessas soluções perante distintos cenários climáticos.

Para a superação desses desafios, os autores sugerem abordagens combinadas, com o envolvimento das comunidades locais no planejamento; campanhas de conscientização, vinculando a IVA a temas relevantes como as mudanças climáticas; a integração de políticas a partir da unificação de marcos regulatórios fragmentados; a adoção de soluções culturalmente apropriadas; e a coleta de dados sobre eficiência da IVA a longo prazo, de modo a persuadir formadores de políticas públicas (Drosou *et al.*, 2019).

Também fundamentado pelo envolvimento das partes interessadas no processo de planejamento da IVA, O'Donnell; Lamond; Thorne (2017) conduziram em Newcastle, Reino Unido, uma série de entrevistas semiestruturadas com 19 profissionais de planejamento urbano e gestão de riscos de inundações a fim de investigar as barreiras à implementação de sistemas de IVA na cidade. De maneira similar aos estudos citados anteriormente, ao todo, foram identificadas 17 barreiras, classificadas em três categorias: **sociopolíticas; biofísicas e mistas** (O'Donnell; Lamond; Thorne, 2017). A promoção de espaços multifuncionais, enfatizando benefícios para além do gerenciamento de água, campanhas de educação e conscientização, revisão de normas legislativas para apoiar a IVA e o uso de ferramentas para a avaliação de benefícios, são propostas como estratégias para a superação dessas barreias (O'Donnell; Lamond; Thorne, 2017).

De modo semelhante, Thorne et al. (2018) investigaram as barreiras à adoção de IVA para a gestão de riscos de inundações em Portland, Estados Unidos. A partir de entrevistas semiestruturadas com 12 profissionais de agências municipais, entre engenheiros, planejadores urbanos e gestores ambientais, os autores adotaram uma classificação de **Incertezas Dominantes Relevantes** (*Relevant Dominant Uncertainty* – RDU). Essas RDU's foram classificadas em dois tipos: **incertezas sociopolíticas**, que

envolvem a falta de apoio político contínuo, percepção pública negativa, fragmentação institucional e desafios de equidade social; e **incertezas biofísicas**, que estão relacionadas ao desempenho hidrológico e à manutenção a longo prazo das soluções de IVA propostas (Thorne *et al.*, 2018). Segundo os autores, as RDU's sociopolíticas têm maior impacto negativo na implementação de IVA do que as biofísicas, em especial no que diz respeito à incerteza sobre apoio político futuro e aceitação comunitária. As barreiras técnicas são consideradas redutíveis com pesquisa científica, ao passo que questões sociopolíticas exigem ações de engajamento e governança (Thorne *et al.*, 2018).

A análise integrada desses quatro trabalhos possibilita observar uma convergência em pontos chave relacionados a **impasses socioculturais, institucionais, biofísicos, técnicos e financeiros.** Em síntese, os autores demonstram que a aplicabilidade da IVA depende não apenas de avanços técnicos, mas de uma transformação de governança, na cultura institucional e no engajamento comunitário. As estratégias propostas por Deely et al. (2020), Drosou et al. (2019), O'Donnell; Lamond; Thorne (2017), e Thorne et al. (2018) apontam caminhos para a transformação da IVA de um conceito teórico para uma prática cotidiana.

3.4 METODOLOGIAS PARA O PLANEJAMENTO E O PROJETO DE IVA

Em vista da superação desses desafios, o planejamento e o projeto de IVA demandam a assimilação de um conjunto variado de metodologias que permitem analisar, simular e conceber sistemas multifuncionais, alinhando-os aos objetivos de sustentabilidade e resiliência urbana.

A partir da leitura completa dos 31 artigos selecionados para esta pesquisa, a revisão sistemática evidenciou a pluralidade de abordagens metodológicas existentes e empregadas na literatura internacional, refletindo tanto a complexidade das interações ecológico-urbanas quanto a necessidade de desenvolver estratégias adaptadas a realidades territoriais distintas. As metodologias identificadas puderam ser organizadas em dois eixos estruturantes:

1. **Escala de Aplicação:** compreendendo desde intervenções locais, como bairros ou unidades paisagísticas, até estratégias regionais que integram redes ecológicas e hidrológicas em grande escala.

2. **Abordagens Metodológicas:** incluem técnicas de análises espaciais baseadas em sistemas de informação geográfica, processos decisórios de múltiplos critérios e modelagens computacionais preditivas capazes de avaliar cenários futuros sob diferentes pressões climáticas e urbanísticas.

Essa categorização dos estudos indica uma visão sistêmica no planejamento de IVA, que combina técnicas quantitativas e qualitativas para equilibrar demandas ecológicas, sociais e técnicas em projetos adaptativos de paisagens urbanas. As subseções apresentadas a seguir detalham os dois eixos estruturantes identificadas.

3.4.1 Escalas de Aplicação

Com base nos 31 artigos analisados, a aplicação da IVA é abordada em distintas escalas espaciais, nomeadamente o bairro, a cidade e a região. Cada uma com suas especificidades, refletem os benefícios e desafios de integrar elementos ecológicos ao ambiente urbano.

A escala de bairro, ou local, comumente referida como “microescala” ou uma abordagem de “alta resolução” (Alves *et al.*, 2024) enfatiza a avaliação e alocação de dispositivos de IVA em áreas relativamente pequenas dentro do contexto de um bairro. Ao envolver a avaliação de oportunidades para soluções de IVA em locais específicos (Alves *et al.*, 2024), nesta escala, as intervenções de IVA incluem a gestão de águas pluviais em nível de lote ou vizinhança (Nguyen; Bach; Pahlow, 2022), enfatizando, assim, a eficiência da retenção e infiltração da precipitação no local onde ela ocorre, ressaltando seus efeitos positivos (Pokrývková *et al.*, 2021).

Já na escala da cidade, ou urbana, também referida como “macro-escala” (Ahmed; Meenar; Alam, 2019) ou abordagem de “baixa resolução” (Alves *et al.*, 2024), os esforços são concentrados em planejar a IVA para toda a cidade. Nesta escala, a IVA é compreendida como uma forma de integrar elementos verdes, azuis e cinzas para uma gestão das águas e desenvolvimento urbano mais sustentável. As análises em escala urbana lançam mão de uma variedade de dados para examinar a morfologia espacial, identificar áreas adequadas para o desenvolvimento e reconhecer desafios (Ahmed; Meenar; Alam, 2019). Tratando do manejo de águas pluviais, no nível da cidade, é importante identificar as zonas de origens das inundações, possibilitando, dessa forma, priorizar os locais para intervenções (Dawson;

Vercruysse; Wright, 2020), definir critérios para adaptação à chuva urbana (Axelsson *et al.*, 2021) e colaborar com a seleção estratégica de locais para a IVA (Kuller *et al.*, 2022).

Na escala regional, também compreendida como "macro-escala", a análise é centrada em avaliar e planejar a IVA em um contexto mais amplo, que vai além de uma única cidade (Ahmed; Meenar; Alam, 2019). Nesta escala, as redes de IVA podem ser usadas para orientar o desenvolvimento de cidades satélites (Ahmed; Meenar; Alam, 2019), considerando as interconexões e funcionalidades de uma rede de infraestrutura verde e azul (Battemarco *et al.*, 2022), em uma abordagem sistêmica que analisa a interdependência entre áreas urbanas, periurbanas e rurais (Bocheńska-Skałecka; Walter, 2020).

Embora a maior parte dos estudos que compõem o corpus de análise desta revisão sistemática tratem a IVA em vista das três escalas espaciais descritas, seis deles adotam explicitamente uma abordagem multiescalar, integrando níveis distintos de análise visando uma maior compreensão da complexidade e das interconexões dos sistemas urbanos e naturais.

Ahmed; Meenar; Alam (2019) propõem uma metodologia que integra níveis micro (lotes e bairros) e macro (urbano e periurbano) destacando a necessidade de se considerar as relações espaciais em três níveis: elementos específicos dos locais, as conexões em rede, e os elementos paisagísticos regionais mais amplos.

Alves et al. (2024) descrevem uma metodologia que considera distintas escalas para planejar a multifuncionalidade de SbN[11]. Inicialmente, identificam os desafios a nível de cidade, posteriormente, em nível de bairro, mapeiam áreas prioritárias, e finalmente, alocam tipologias de SbN em microescala.

Vercruysse et al. (2019) e Dawson; Vercruysse; Wright, (2020) desenvolvem e aplicam uma metodologia para priorização espacial na gestão de inundações urbanas. Os resultados desses estudos demonstram como a combinação de dados de diferentes escalas pode orientar uma abordagem mais integrada para a gestão das águas pluviais.

Nguyen; Bach; Pahlow (2022) abordam o aproveitamento de águas pluviais em múltiplas escalas. Em uma bacia hidrográfica, o estudo considera o sistema hídrico em uma

[11] A relação entre os conceitos de Infraestrutura Verde e Azul e Soluções baseadas na Natureza foi detalhada anteriormente nesta dissertação (ver Seção 2.3.1, p. 59). Assim, o trabalho de Alves et al. (2024), embora utilize a nomenclatura "SbN" para designar esses sistemas paisagísticos multifuncionais, foi mantido para a RSL sobre a aplicabilidade da IVA.

escala ampla, para além dos limites de uma propriedade ou bairro, destacando a estratégia de captação de águas pluviais a montante para abastecimento de áreas a jusante.

Por fim, Zhang et al. (2020) desenvolvem e apresentam uma ferramenta para ser aplicada ao planejamento e projeto de IVA em diversas escalas, do nível de bairro a grandes áreas urbanas, refletindo sobre a necessidade de ferramentas interdisciplinares que conectem ciência e prática.

A compreensão das múltiplas escalas de aplicação das estratégias de IVA é fundamental para um processo de planejamento integrado e eficiente desses sistemas. Contudo, além da definição da escala espacial, a seleção das abordagens metodológicas utilizadas nos estudos determina a forma como as análises são conduzidas e os resultados obtidos. A próxima seção explora, em detalhes, as principais metodologias identificadas nesta revisão.

3.4.2 Abordagens Metodológicas Identificadas

No planejamento de IVA diferentes metodologias são envolvidas a fim de possibilitar a análise, modelagem e avaliação de sua implementação em variados contextos urbanos e regionais. A revisão sistemática dos 31 artigos revelou três principais abordagens metodológicas empregadas nesse processo: análise espacial; análise multicritérios; e modelagem e simulação computacional.

Cada uma dessas abordagens oferece ferramentas e perspectivas distintas, permitindo, assim, a integração de aspectos ecológicos, sociais e técnicos em projetos urbanos e regionais. As subseções desenvolvidas a seguir apresentam cada uma dessas abordagens em detalhes.

3.4.2.1 Análise Espacial

A Análise Espacial pode ser entendida como a abordagem mais utilizada no planejamento de IVA, tendo sido identificada em 19 dos 31 artigos que compõem essa revisão. Baseada no uso de Sistemas de Informações Geográficas (GIS), essa metodologia propicia o cruzamento de dados ambientais, sociais e infraestruturais, auxiliando na tomada de decisão com base em informações integradas.

Essa metodologia pode ser aplicada a fim de identificar áreas prioritárias para a alocação de dispositivos de IVA (Alves *et al.*, 2024); explorar o uso de GIS e geodados para

a modelagem cartográfica de IVA em áreas urbanizadas (Czyża; Kowalczyk, 2023); explorar as necessidades e oportunidades de infraestruturas urbanas interdependentes para o manejo de águas pluviais (Dawson; Vercruysse; Wright, 2020; Vercruysse *et al.*, 2019); dar suporte ao planejamento para otimização da IVA (Zhou; Wu, 2020); identificar e avaliar as condições de cursos d'água para apoiar a gestão de águas pluviais urbanas (Simperler *et al.*, 2020); classificar áreas para o cálculo de escoamento superficial de água da chuva (Teichmann *et al.*, 2024) e criar bancos de dados geolocalizados de sistemas de drenagem urbana sustentáveis, classificando-os por tipo, tamanho e localização (Kuller; Reid; Prodanovic, 2021).

3.4.2.2 Análise Multicritérios

A Análise de Decisão Multicritérios, do inglês *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA), se apresenta como uma abordagem amplamente adotada nos processos de tomada de decisão em IVA, em especial quando múltiplos objetivos estão envolvidos.

Nessa abordagem metodológica, os estudos se concentram em utilizar combinações de processos analíticos para análises de decisões visando, especialmente, entender as distintas opiniões das partes interessadas (Axelsson *et al.*, 2021; Axelsson; Giove; Soriani, 2021), além de empregar esses processos analíticos combinados com ferramentas GIS para identificar locais adequados à implantação de IVA (Sehrawat; Shekhar, 2024), e criar mapas de adequabilidade para IVA (Kaur; Gupta, 2022).

As MCDA também desempenham um papel importante na identificação de barreiras à implementação de IVA (Deely *et al.*, 2020; Drosou *et al.*, 2019; O'Donnell; Lamond; Thorne, 2017; Thorne *et al.*, 2018), na identificação dos dados e informações necessárias para o planejamento de IVA (Sörensen; Persson; Olsson, 2021), no diagnóstico de conflitos para o planejamento participativo (Lee, 2021), e na compreensão das preferências da comunidade frente aos sistemas de IVA (Lamond; Everett, 2019).

3.4.2.3 Modelagem e Simulação Computacional

Por fim, na terceira classificação das abordagens metodológicas identificadas nos estudos coletados, estão os trabalhos que adotam a Modelagem e Simulação Computacional para simular cenários futuros e avaliar impactos de intervenções de IVA a longo prazo.

Esses trabalhos utilizam-se de modelagem matemática para simulação da dinâmica da água considerando distintos cenários de urbanização (Battemarco *et al.*, 2022; Gomes *et al.*, 2021); de ferramentas computacionais para simular o desempenho dos projetos de IVA e os impactos das diferentes soluções de design (Bocheńska-Skałecka; Walter, 2020); da modelagem hidrodinâmica para simular profundidades de inundação considerando as características da bacia hidrográfica, redes de drenagem e eventos de chuva (Casiano Flores; Vikolainen; Crompvoets, 2021; Dawson; Vercruysse; Wright, 2020); de modelos integrados de gestão da água urbana para avaliar indicadores de segurança hídrica (Puchol-Salort *et al.*, 2022) e de modelagem distribuída para analisar o impacto da implementação de IVA (Versini *et al.*, 2018).

A combinação da Análise Espacial GIS com a Modelagem e Simulação Computacional propicia também a identificação das demandas locais de serviços ecossistêmicos e a avaliação da adequação local para o desenvolvimento de IVA (Zhou; Wu, 2020), sendo possível, dessa forma, identificar locais adequados para a implementação de sistemas e dispositivos de IVA (Teichmann *et al.*, 2024), além de permitir quantificar os benefícios associados a eles (Zhang *et al.*, 2020).

3.5 SÍNTESE DO *CORPUS* DE ANÁLISE

As abordagens metodológicas identificadas nesta RSL (análise espacial, análise multicritérios e modelagem e simulação computacional) se mostram complementares no planejamento de redes de infraestrutura verde e azul. Ao passo que a análise espacial baseada em GIS provê uma base empírica para identificação de áreas prioritárias para implantação de IVA, a análise multicritérios incorpora uma camada de decisão estratégica nesse processo. Ainda, a utilização de modelagem computacional preditiva permite aos pesquisadores simular cenários futuros e antecipar impactos a médio e longo prazos.

A Tabela 2, disposta a seguir, sistematiza as escalas de aplicação e as tendências metodológicas identificadas no corpus de análise dos 31 artigos selecionados para a RSL[12], e sintetiza as informações encontradas nesses trabalhos.

[12] As informações acerca das metodologias identificadas nos 31 artigos foram compiladas e publicadas como um *Dataset* na plataforma Mendeley Data (Henrique; Enokibara, 2025).

Tabela 2: Síntese do Corpus de Análise.

	Escala de Aplicação			Estratégia Metodológica		
Referência	**Bairro**	**Cidade**	**Região**	**Análise Espacial**	**Análise Multicritérios**	**Modelagem e Simulação**
Ahmed; Meenar; Alam (2019)	●	●	●	●		
Alves et al. (2024)	●	●		●	●	●
Axelsson et al. (2021)		●			●	
Axelsson; Giove; Soriani (2021)		●			●	
Battemarco et al. (2022)		●				●
Bocheńska-Skałecka; Walter (2020)		●				●
Casiano Flores; Vikolainen; Crompvoets (2021)		●			●	
Czyża; Kowalczyk (2023)		●		●		●
Dawson; Vercruysse; Wright (2020)	●	●		●		●
Deely et al. (2020)		●			●	
Drosou et al. (2019)	●				●	
Gomes et al. (2021)	●			●		●
Kaur; Gupta (2022)		●		●		
Kuller et al. (2022)		●		●	●	●
Kuller; Reid; Prodanovic (2021)		●		●	●	●
Lamond; Everett (2019)	●				●	
Lee, (2021)	●			●	●	
Nguyen; Bach; Pahlow (2022)	●	●		●		●
O'Donnell; Lamond; Thorne (2017)		●			●	
O'Donnell; Lamond; Thorne (2018)		●			●	
Pokrývková et al. (2021)	●			●		●
Puchol-Salort et al. (2022)		●		●		●
Sehrawat; Shekhar (2024)		●		●	●	
Simperler et al. (2020)	●			●	●	
Sörensen; Persson; Olsson (2021)		●			●	
Teichmann et al. (2024)			●	●		●
Thorne et al. (2018)		●			●	
Vercruysse et al. (2019)	●	●		●		●
Versini et al. (2018)	●			●		●
Zhang et al. (2020)	●	●		●		●
Zhou; Wu (2020)		●		●		●

Fonte: Elaborado pelo autor.

A necessidade de combinar técnicas quantitativas e qualitativas para o planejamento de sistemas de IVA, de modo a enfrentar os complexos desafios urbanos, se reflete no conteúdo desses trabalhos. A associação dessas estratégias metodológicas além de aprimorar a alocação de recursos, também reforça a legitimidade de soluções propostas, à medida que envolvem as múltiplas partes interessadas, e consideram os aspectos técnicos, ecológicos e as diferentes escalas de intervenção.

3.6 QUADRO METODOLÓGICO DAS ESTRATÉGIAS PARA IVA

A fim de compreender de que maneira essas estratégias metodológicas vêm sendo, de fato, aplicadas em diferentes contextos, esta seção do capítulo coloca-se, em um primeiro momento, a apresentar as técnicas e ferramentas associadas a cada uma delas. Posteriormente, a partir do cruzamento entre técnicas, ferramentas e objetivos específicos identificados, é desenvolvido um Quadro Metodológico que destaca exemplos práticos que mostram diferentes metodologias para cada contexto investigado.

3.6.1 Técnicas e Ferramentas Identificadas

A revisão sistemática dos estudos coletados revelou um vasto conjunto de técnicas e ferramentas aplicadas ao planejamento, projeto e avaliação de sistemas de infraestrutura verde e azul, que instrumentalizam as abordagens metodológicas identificadas, desde a análise espacial detalhada, até a tomada de decisão e a simulação de cenários futuros.

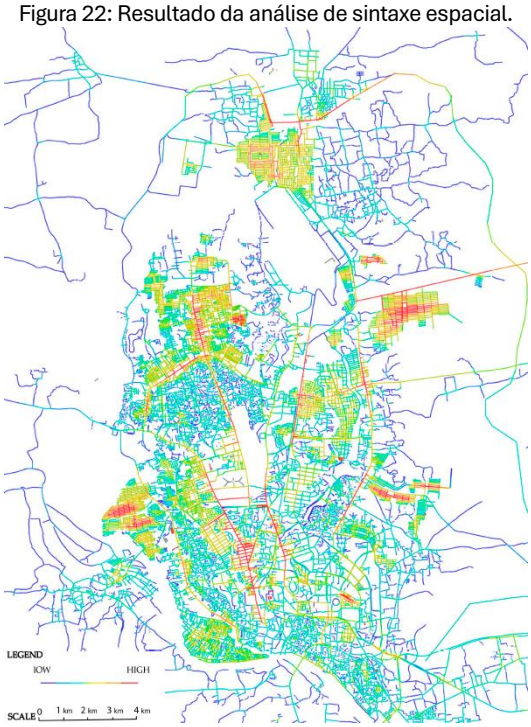
No primeiro conjunto de abordagens identificado, nomeadamente a **análise espacial**, os Sistemas de Informação Geográfica (GIS) desempenham um papel fundamental, dispondo ferramentas que são amplamente empregadas na visualização, análise e edição de dados geográficos (Teichmann *et al.*, 2024). O **ArcGIS**, ferramenta que depende de assinatura paga, desponta como um dos *softwares* mais utilizados nos estudos, possibilitando o processamento e criação de camadas de dados geoespaciais, a criação de mapas temáticos e de adequação, e o mapeamento de conflitos (Czyża; Kowalczyk, 2023; Dawson; Vercruysse; Wright, 2020; Lee, 2021; Sehrawat; Shekhar, 2024; Zhou; Wu, 2020).

Outro *software* amplamente utilizado nessa abordagem, o **QGIS** (*Quantum Geographical Information System*) se coloca como uma alternativa gratuita ao ArcGIS. Com funcionalidades similares, os estudos que empregaram essa ferramenta também efetuaram

cálculo de escoamento e identificação de locais para implantação de medidas de retenção de água, e digitalização de mapas antigos e criação de sobreposições (Pokrývková *et al.*, 2021; Puchol-Salort *et al.*, 2022; Simperler *et al.*, 2020; Teichmann *et al.*, 2024).

Associados às ferramentas de GIS, outros *softwares* foram empregados nos estudos. O ***Scalgo***[13], aplicação paga disponível *online* para o planejamento de ambientes sensíveis à água, foi utilizado para uma análise de bacias hidrográficas que incluiu a delimitação de áreas da bacia de drenagem e a identificação de áreas de depressão propícias a inundações (Czyża; Kowalczyk, 2023), e o ***MapBox***[14]**,** plataforma *web* também paga, propiciou a criação de mapas interativos e serviços de geolocalização a partir de dados espaciais (Teichmann *et al.*, 2024). Já o ***DepthMapX***[15], ferramenta de código aberto integrada ao QGIS, permitiu a realização de uma análise de sintaxe espacial (Fig. 22), identificando áreas com diferentes padrões de desenvolvimento, seus níveis de integração viária, e a necessidade de soluções específicas de gestão de água para diferentes tipos de densidades urbanas (Ahmed; Meenar; Alam, 2019).

Figura 22: Resultado da análise de sintaxe espacial.



Legenda: Azul e vermelho representam menor e maior grau de integração viária, respectivamente. Fonte: Ahmed; Meenar; Alam (2019, p. 9, tradução nossa).

[13] Disponível em: https://scalgo.com. Acesso em: 7 de nov. 2024.
[14] Disponível em: https://www.mapbox.com. Acesso em: 7 de nov. 2024.
[15] Disponível em: https://www.spacesyntax.online/software-and-manuals/depthmap/. Acesso em: 7 de nov. 2024.

Os *softwares* utilizados por essas análises espaciais processam uma variedade de dados geoespaciais, vetoriais (linhas, pontos e polígonos) ou *raster* (imagens de satélite, modelos digitais de superfície e modelos digitais de elevação), a fim de fornecer resultados distintos a depender da finalidade da análise (Pokrývková *et al.*, 2021; Sehrawat; Shekhar, 2024). A Tabela 3, em sequência, sintetiza os tipos de dados e os resultados associados a cada uma dessas ferramentas identificadas nos trabalhos.

Tabela 3: Síntese de dados, aplicações e resultados das ferramentas de análise espacial identificadas na RSL.

	Tipos de Dados	**Aplicação e Resultados**	**Referência**
ArcGIS	*Shapefiles*, dados vetoriais e *raster*	Análise e edição de dados geográficos Mapas de oportunidades para alocação de IVA	Sehrawat; Shekhar (2024)
QGIS	*Shapefiles*, dados vetoriais e *raster*	Análise e edição de dados geográficos Mapas de oportunidades para alocação de IVA	Pokrývková et al. (2021); Teichmann et al. (2024)
Scalgo	Modelos digitais de elevação	Delimitação de áreas de bacias de drenagem; Determinação de locais ideais para componentes de IVA	Czyża; Kowalczyk (2023)
DepthmapX	*Shapefiles* de redes viárias	Análise de sintaxe espacial; Análise de integração viária	Ahmed; Meenar; Alam (2019)
Mapbox	Dados geoespaciais vetoriais e *raster*	Visualização e análise de dados de geolocalização; Criação de mapas interativos	Teichmann et al. (2024)

Fonte: Elaborado pelo autor.

A disponibilidade e o acesso a conjuntos de dados espaciais e climáticos de alta qualidade são apontados como a principal limitação dessa abordagem metodológica (Alves *et al.*, 2024; Czyża; Kowalczyk, 2023; Kaur; Gupta, 2022; Kuller; Reid; Prodanovic, 2021; Sehrawat; Shekhar, 2024; Teichmann *et al.*, 2024; Vercruysse *et al.*, 2019; Zhou; Wu, 2020), o que pode ser um desafio ainda maior em países do Sul Global com diferenças contextuais a países desenvolvidos (Ahmed; Meenar; Alam, 2019; Kuller *et al.*, 2022)

Nesse sentido, diversos estudos destacam a importância do acesso a fontes confiáveis de dados geográficos, como por exemplo, aqueles obtidos através de técnicas de **sensoriamento remoto** (Alves *et al.*, 2024; Kaur; Gupta, 2022) como imagens de satélite do

Landsat (Czyża; Kowalczyk, 2023; Zhou; Wu, 2020) e do *Sentinel* (Kaur; Gupta, 2022; Sehrawat; Shekhar, 2024), além de plataformas de dados abertos (*open data*) como ***Google Earth Pro*** (Sehrawat; Shekhar, 2024) e o ***OpenStreetMap*** (Czyża; Kowalczyk, 2023). Em muitos casos, diversos desses dados existem em diferentes níveis (municipal, estadual e federal), entretanto são fragmentados e mal organizados, dificultando assim sua obtenção (Sörensen; Persson; Olsson, 2021; Teichmann *et al.*, 2024) e, dada essa dificuldade, realizar novas coletas é indispensável (Sörensen; Persson; Olsson, 2021).

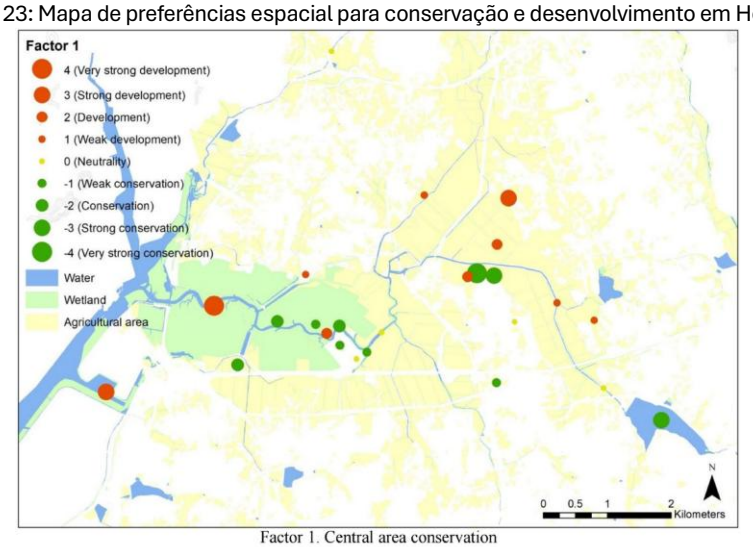
Já no âmbito das **análises multicritérios** (MCDA), métodos de pesquisa qualitativos e quantitativos são combinados a fim de avaliar e comparar diferentes alternativas considerando múltiplos critérios previamente estabelecidos. Com base na revisão sistemática realizada, é possível notar que as MCDA são aplicadas em estudos com foco em processos participativos e abordagens que buscam envolver as partes interessadas no planejamento de IVA.

Dos 31 artigos analisados, 16 empregaram alguma forma de MCDA para a realização do trabalho. Desses, a **entrevista semiestruturada** foi a técnica qualitativa de pesquisa mais utilizada, especialmente com o objetivo de coletar dados sobre percepções e experiências diretamente com as partes interessadas, incluindo profissionais de planejamento urbano, moradores dos locais estudados e representantes governamentais (Casiano Flores; Vikolainen; Crompvoets, 2021; Drosou *et al.*, 2019; Kuller *et al.*, 2022; O'Donnell; Lamond; Thorne, 2017; Thorne *et al.*, 2018). A realização de **oficinas** (*workshops*) com **grupos focais** também foi amplamente empregada para facilitar a colaboração criativa entre as partes interessadas e as discussões sobre a adoção de IVA (Bocheńska-Skałecka; Walter, 2020; Drosou *et al.*, 2019; Kuller *et al.*, 2022; O'Donnell; Lamond; Thorne, 2018).

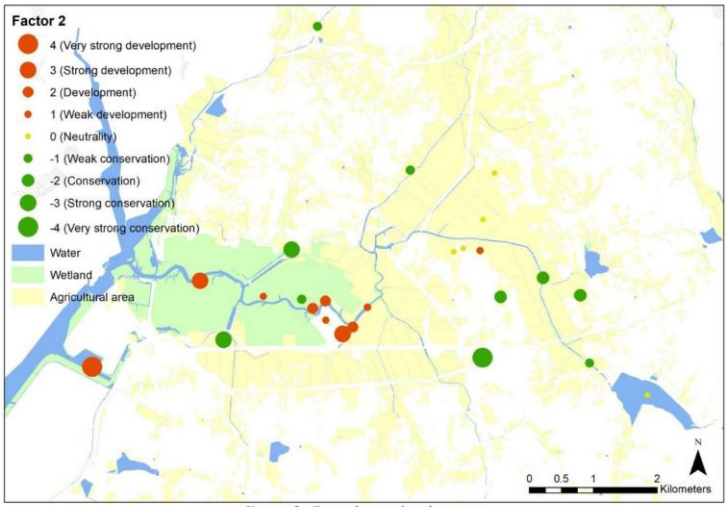
Na esfera das abordagens qualitativas, cabe ressaltar o trabalho de Lee (2021) que, na cidade de Hojobul, Coreia do Sul, aplicou uma espécie de Sistema de Informação Geográfica de Participação Pública – *Public Participation Geographic Information Systems* (PPGIS) – chamado de metodologia **"*Spatial Q*"**, em português "Q Espacial". Combinando a análise espacial GIS com a MCDA, essa abordagem foi aplicada para examinar e mapear os interesses e preferências espaciais das partes interessadas em relação ao desenvolvimento e conservação na área central da cidade. O procedimento metodológico consistiu em: identificação do locais principais; identificação das partes interessadas;

classificação espacial, realizada a partir de entrevistas; e mapeamento e interpretação, onde as preferências espaciais das partes interessadas foram mapeadas (Fig. 23) com uso de ferramenta GIS (Lee, 2021). Tratando-se de planejamento colaborativo, essa metodologia possibilita apontar e mapear conflitos, promover a colaboração entre as partes interessadas e planejar a gestão do território considerando as preferências e necessidades identificadas (Lee, 2021).

Figura 23: Mapa de preferências espacial para conservação e desenvolvimento em Hojobul.



Factor 1. Central area conservation



Factor 2. Central area development

Fonte: Lee (2021, p. 487).

Métodos quantitativos, no entanto, como o Processo Analítico Hierárquico, *Analytic Hierarchy Process* **(AHP),** e a Técnica para Ordenamento de Preferências por Similaridade com a Solução Ideal, *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* **(TOPSIS)** podem ser combinados na análise de múltiplos critérios para a tomada de decisões complexas (Axelsson *et al.*, 2021; Axelsson; Giove; Soriani, 2021).

O AHP é utilizado a fim de definir pesos para cada critério na tomada de decisão, onde, por meio de comparações em pares, as partes interessadas ponderam a importância de cada critério utilizando uma escala numérica ou linguística (Axelsson *et al.*, 2021; Axelsson; Giove; Soriani, 2021; Sehrawat; Shekhar, 2024). No estudo de Kaur; Gupta (2022), por exemplo, o AHP foi aplicado de modo a atribuir pesos a critérios como declive, grupo hidrológico do solo, potencial de densidade de drenagem, cobertura do solo e proximidade a estradas, importantes parâmetros para identificar locais adequados para a implantação de IVA.

O TOPSIS, por sua vez, é utilizado para classificar alternativas de acordo com sua semelhança com a solução ideal (Axelsson *et al.*, 2021; Axelsson; Giove; Soriani, 2021). Em Axelsson et al. (2021), por exemplo, a técnica foi utilizada para avaliar diferentes alternativas de política de gestão de águas pluviais, como a renovação de infraestruturas cinzas, infraestruturas verdes públicas, infraestruturas verdes privadas, otimização governamental e manutenção de ambientes urbanos. Essa técnica utiliza os pesos dos critérios calculados pelo AHP para ponderar a importância de cada um na avaliação das alternativas (Axelsson *et al.*, 2021; Axelsson; Giove; Soriani, 2021). A metodologia combinada AHP-TOPSIS permite quantificar as opiniões qualitativas das partes interessadas, transformando-as em dados que podem ser utilizados em conjunto com os dados quantitativos para avaliação de alternativas propostas (Axelsson *et al.*, 2021; Axelsson; Giove; Soriani, 2021; Sehrawat; Shekhar, 2024).

O arcabouço metodológico para o planejamento de IVA proporcionado pelas MCDA, especialmente quando combinados com as demais abordagens, além de assegurar a otimização de recursos técnicos, também procura averiguar se as soluções propostas são culturalmente relevantes e socialmente justas.

Por fim, a **modelagem e simulação computacional**, terceiro grupo de abordagens metodológicas identificado, representa um avanço significativo no planejamento de IVA, permitindo tanto a análise de sistemas complexos quanto a projeção de cenários futuros (Alves *et al.*, 2024; Gomes *et al.*, 2021). Estes métodos auxiliam na tomada de decisões integrando dados de múltiplas fontes e disciplinas (Alves *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2020). A partir da RSL foi possível distinguir as ferramentas de modelagem e simulação entre Modelos Hidrológicos e Hidráulicos e Sistemas de Suporte ao Planejamento.

No primeiro grupo, os Modelos Hidrológicos e Hidráulicos se colocam a simular o ciclo e o comportamento hidrológico (Versini *et al.*, 2018), cenários de inundações (Battemarco *et al.*, 2022; Gomes *et al.*, 2021) e suas profundidades (Dawson; Vercruysse; Wright, 2020; Vercruysse *et al.*, 2019), o fluxo e qualidade da água (Puchol-Salort *et al.*, 2022), e avaliar o tratamento de águas pluviais (Zhang *et al.*, 2020).

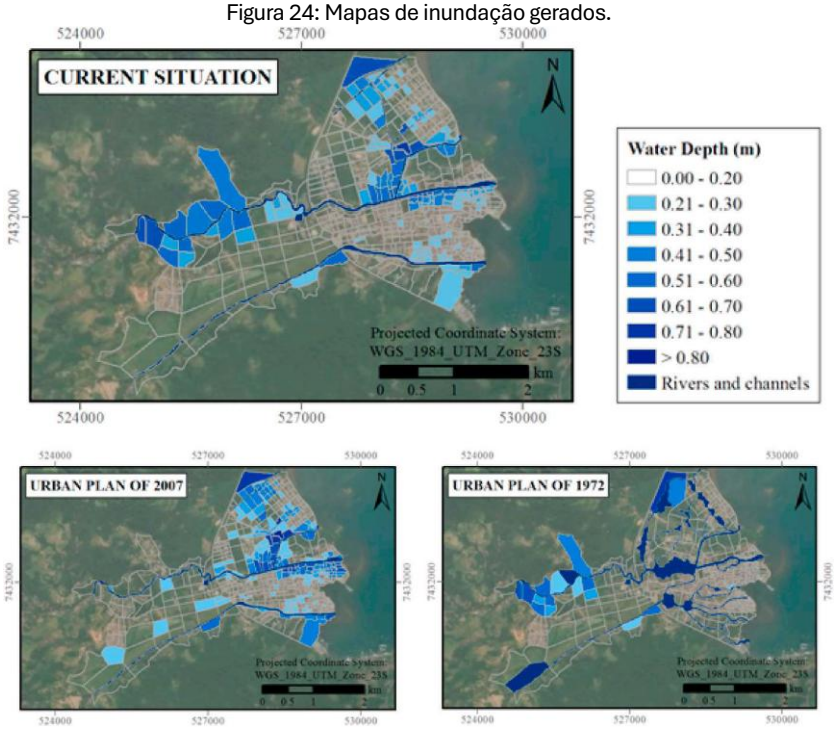
Neste contexto, a ferramenta ***Multi-Hydro***[16] foi empregada por Versini et al. (2018) para simular o comportamento da água em ambientes urbanos complexos e para avaliar o desempenho de diferentes tipos de IVA na gestão de águas pluviais. Outra ferramenta, um modelo matemático hidrodinâmico chamado "Modelo de Células de Escoamento" **(MODCEL)**[17]**,** foi utilizada por Battemarco et al. (2022) para simular a dinâmica da água considerando distintos cenários de urbanização e intervenções no município de Paraty, RJ, e posteriormente propor uma rede de IVA. Também foi utilizada por Gomes et al. (2021) para simular cenários de inundação e avaliar o impacto de uma alternativa hipotética proposta para a Bacia do Rio Acari na cidade do Rio de Janeiro.

Em Battemarco et al. (2022), a modelagem com o MODCEL foi empregada a fim de produzir mapas de inundação e estimar a profundidade da água em três diferentes cenários (Fig. 24): a situação atual, modelando as condições de inundações existentes na área histórica de Paraty; o Plano Diretor de 2007, simulando o impacto do documento nas áreas de inundação; e o Plano de 1972, simulando seu impacto nas mesmas áreas.

[16] Multi-Hydro é um modelo hidrológico de código aberto desenvolvido por pesquisadores na *École des Ponts*, Instituto Politécnico de Paris (ParisTech) Versini et al. (2018). Mais informações em: https://hmco.enpc.fr/portfolio-archive/multi-hydro/

[17] Modelo desenvolvido no Laboratório de Hidráulica Computacional (LHC) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Chargel, 2018). Entretanto, não há menção em Battemarco et al. (2022) ou Gomes et al. (2021) sobre a disponibilidade da ferramenta para uso em outras pesquisas.

Figura 24: Mapas de inundação gerados.



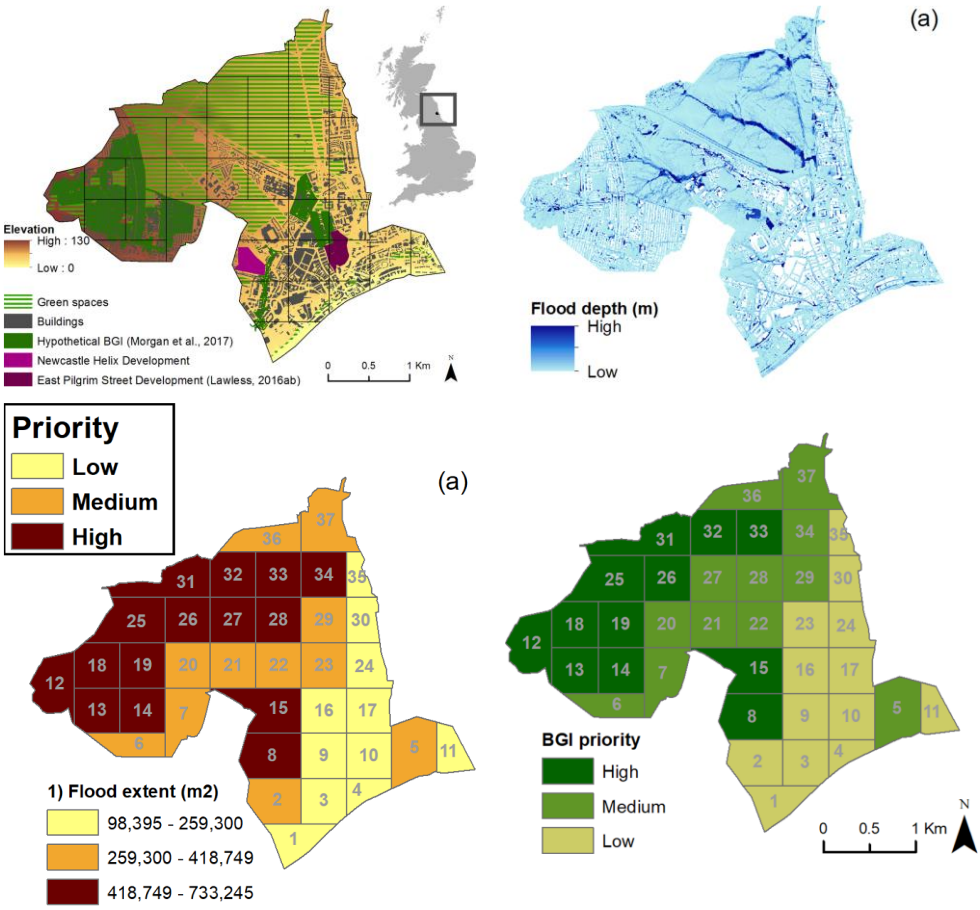
Fonte: Battemarco et al. (2022, p. 8).

Em dois trabalhos, a ferramenta ***CityCAT***[18] foi empregada de modo a alinhar modelos de inundação urbana com a identificação de áreas prioritárias para intervenções de manejo de águas pluviais em uma bacia hidrográfica (Dawson; Vercruysse; Wright, 2020; Vercruysse *et al.*, 2019). O *software* foi utilizado para simular profundidades de inundação na cidade de Newcastle, Reino Unido, considerando as características da bacia, suas redes de drenagem e os eventos de chuva.

O procedimento metodológico utilizado em Newcastle envolveu uma análise de dependência celular, onde a área de estudo foi dividida em células de grade e o *CityCAT* foi executado várias vezes, definindo a precipitação em uma célula para zero a cada vez, para assim determinar a contribuição de cada célula para a inundação a jusante. Os mapas resultantes dessas simulações identificam zonas de intervenção prioritárias para gerenciamento de inundações (Fig. 25), classificadas como "restringir", "aliviar" ou "reter" (Vercruysse *et al.*, 2019).

[18] O *City Catchment Analysis Tool* (CityCAT) foi desenvolvido pelo *Centre for Climate and Environmental Resilience* (Centro de Resiliência Climática e Ambiental) da Universidade de Newcastle, Reino Unido. Trata-se de um *software* de código aberto e uso gratuito para pesquisas (Glenis; Kutija; Kilsby, 2018). Informações sobre documentação, licenças e pacotes para utilização do modelo podem ser encontradas no repositório do criador na plataforma *github.* Disponível em: https://github.com/nclwater/citycatio. Acesso em: 06 de jan. 2025.

Figura 25: Resultados obtidos com a ferramenta *CityCAT*.



Legenda da esquerda para a direita: Visão geral do núcleo urbano de Newcastle; simulação de profundidade de inundações obtidas; áreas prioritárias identificadas por extensão da inundação; áreas prioritárias identificadas para implantação de infraestrutura verde e azul. Fonte: Vercruysse et al. (2019, p. 2, 5, 7 e 9).

Outras duas ferramentas também foram identificadas através da RSL. O "Modelo de Conceptualização para Melhora de Águas Pluviais Urbanas", *Model for Urban Stormwater Improvement Conceptualisation* **(MUSIC)**[19]**,** um *software* licenciado desenvolvido pelo Centro Cooperativo de Pesquisa em Hidrologia de Bacias Hidrográficas (*Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology* – CRCCH) e amplamente empregado na Austrália para o planejamento de sistemas de drenagem urbana com ênfase em IVA (Wong *et al.*, 2002; Zhang *et al.*, 2020), que foi utilizado com o objetivo de realizar uma simulação hidrológica e avaliação do tratamento de águas pluviais (Zhang *et al.*, 2020). E o ***CityWat***[20]**,** um modelo de gestão hídrica de código aberto desenvolvido para simular, de forma integrada, o fluxo e a qualidade dos recursos hídricos (Dobson; Mijic, 2020) e que foi

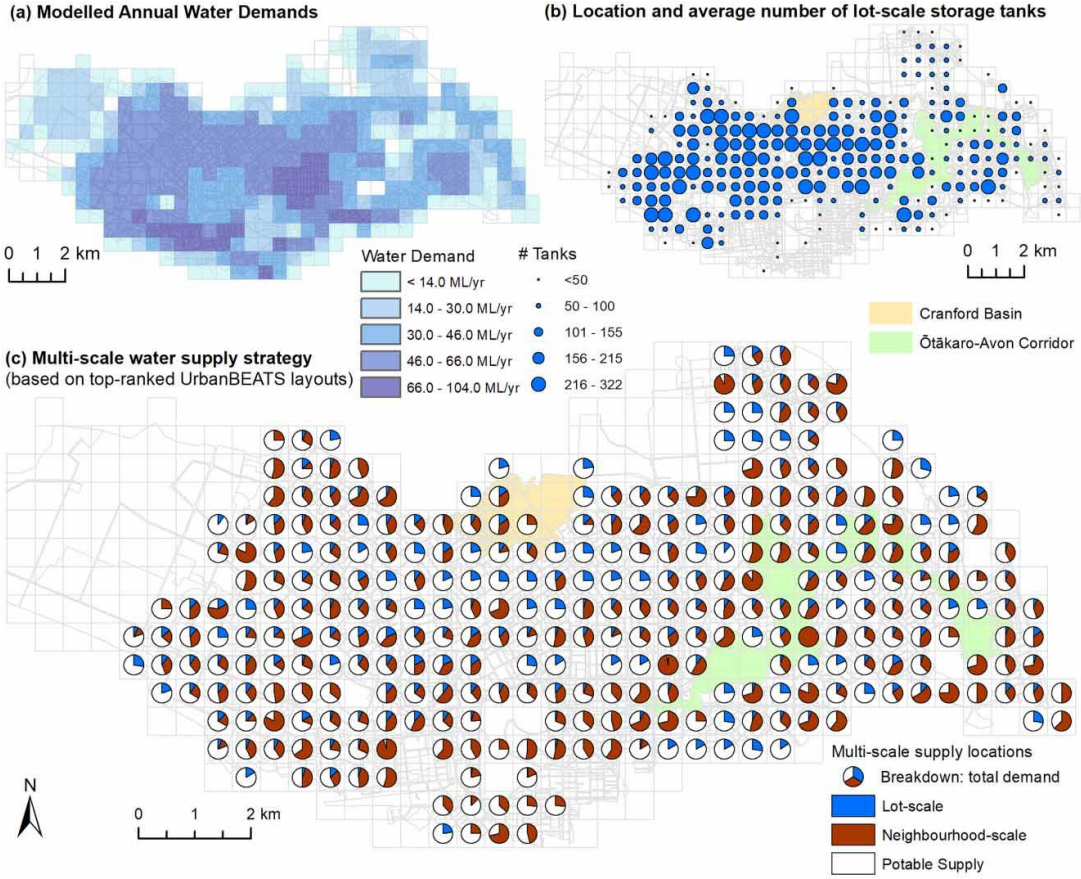
[19] Disponível em: https://ewater.org.au/ewater-solutions/tools/music/. Acesso em: 11 de dez. 2024.
[20] Disponível em: https://github.com/barneydobson/citywat. Acesso em: 11 de dez. 2024.

utilizado por Puchol-Salort et al. (2022) para simular e comparar distintos cenários em Londres, incluindo a implementação de sistemas de IVA.

Já o segundo grupo identificado, os Sistemas de Suporte ao Planejamento, ou *Planning Support Systems* (PSS), por sua vez, apresenta ferramentas computacionais desenvolvidas especificamente para melhorar o processo de tomada de decisões (Kuller *et al.*, 2022; Kuller; Reid; Prodanovic, 2021). Esses sistemas fornecem ambientes integrados para a análise e avaliação de diferentes opções de planejamento.

Dentro desses sistemas está o ***UrbanBEATS***[21]**,** um PSS que processa dados de uso e tipos de solo, topografia e densidade populacional para criar *layouts* de IVA (Fig. 26). Através de um algoritmo, o *UrbanBEATS* gera milhares de *layouts* distintos e seleciona aqueles que melhor se alinham aos objetivos de gestão de águas pluviais definidos (Nguyen; Bach; Pahlow, 2022).

Figura 26: Resultados obtidos com a ferramenta UrbanBEATS.



Legenda da esquerda para a direita: Avaliação estatística baseada nos resultados de 10 modelos simulados, (a) demanda hídrica anual modelada, (b) locais selecionados e número médio de reservatórios de águas pluviais em escala de lote, e (c) distribuição média do abastecimento de água em múltiplas escalas. Fonte: Nguyen; Bach; Pahlow, (2022, p. 65, tradução nossa).

[21] Disponível para *download* gratuito em: https://urbanbeatsmodel.com/download/. Acesso em: 01 de fev. 2025.

Outro PSS, a "Ferramenta de Suporte ao Planejamento para Otimização Integral de Layout", ou *Planning Support Tool for Layout Integral Optimization* **(PSTLIO)**[22]**,** foi utilizada por Zhou; Wu (2020), em Hekou, província de Shandong, China, a fim apoiar a tomada de decisões na otimização do layout de IVA em áreas urbanas. A partir do processamento de dador por meio de um sistema de sobreposição de mapas, a ferramenta auxilia na identificação de áreas prioritárias para o desenvolvimento de IVA com base na demanda de serviços ecossistêmicos e adequação do terreno (Zhou; Wu, 2020).

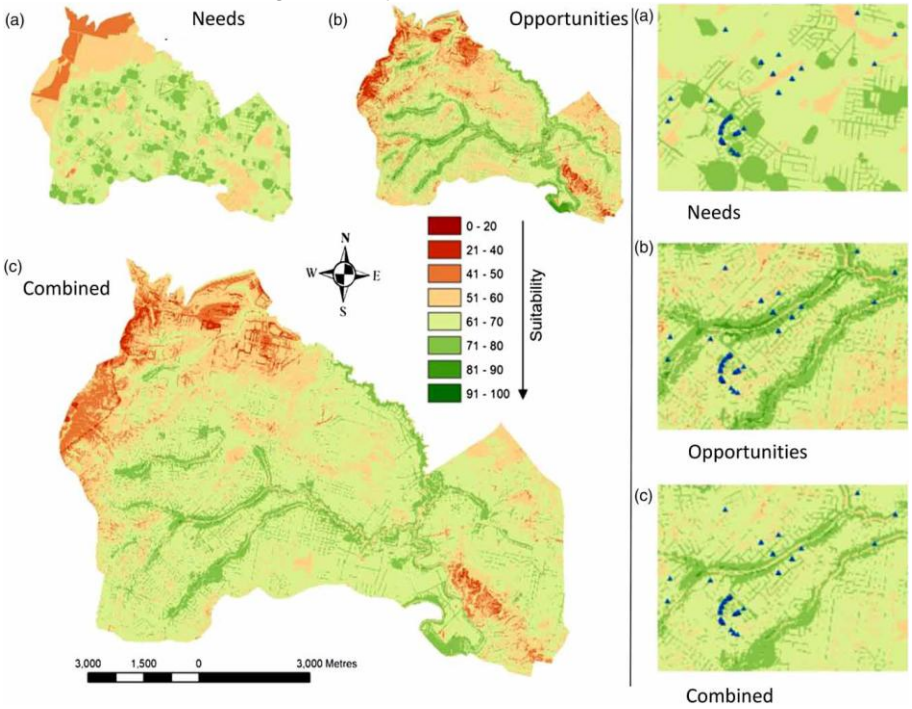
Outros dois PSS puderam ser identificados a partir da a RSL. O Kit de Ferramentas para Cidades Sensíveis à Água, ou *Water Sensitive Cities Toolkit* **(WSC Toolkit)**[23]**,** baseado na plataforma MUSIC, foi utilizado para tomar decisões a respeito da maximização de benefícios da IVA (Zhang *et al.*, 2020).

Já a Ferramenta de Análise de Adequação Espacial, ou *Spatial Suitability Analysis Tool* **(SSANTO)**[24]**,** combina Sistemas de Informação Geográfica com uma Análise de Decisão Multicritério (GIS-MCDA) a fim de identificar locais adequados para implantar redes de IVA (Kuller *et al.*, 2022). Tomando Sydney, Austrália, como estudo de caso, Kuller; Reid; Prodanovic (2021) utilizaram o SSANTO com o objetivo de investigar se a IVA do município tem sido planejada estrategicamente.

A aplicação da ferramenta resultou em mapas (Fig. 27) que ilustram as necessidades (locais onde há maior necessidade de implantação de dispositivos de IVA); oportunidades (áreas adequadas para receber dispositivos de IVA), e um mapa combinado, que une as informações dos dois mapas anteriores de modo a mostrar as áreas mais promissoras para implementação de IVA (Kuller; Reid; Prodanovic, 2021).

[22] Não há indicação no trabalho sobre disposição *online* da ferramenta como um *software* pronto para uso.
[23] Disponível em: https://watersensitivecities.org.au/tools/. Acesso em: 03 de fev. 2025.
[24] Desenvolvido pela mesma equipe do *UrbanBEATS*. Ver: https://urbanbeatsmodel.com/about-ssanto-pss/. Acesso em: 01 de fev. 2025.

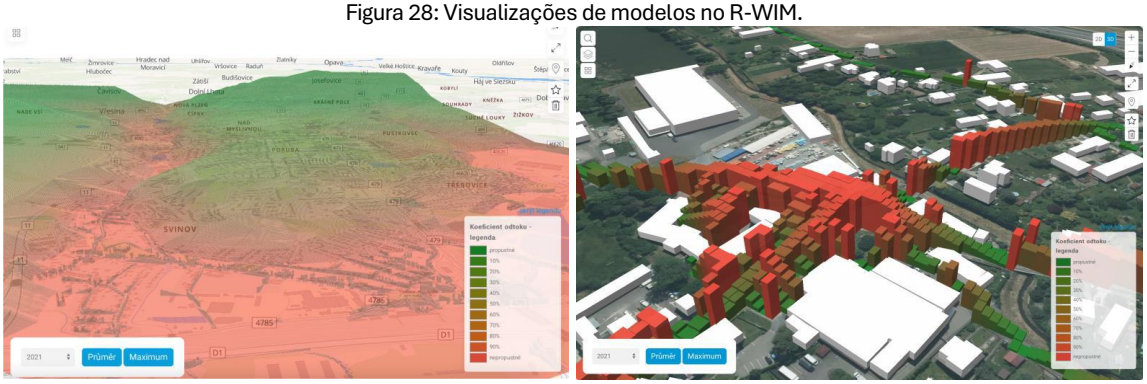
Figura 27: Mapas resultantes do SSANTO.



Fonte: Kuller; Reid; Prodanovic (2021, p. 276).

Uma última ferramenta que combina características dos dois grupos foi identificada, se posicionando na intersecção entre a modelagem hidrológica e um sistema de suporte à decisão. O **R-WIM**[25] (*Rainwater Information Management*), em português Gestão de Informações sobre Águas Pluviais, é capaz, através de dados do terreno como coeficientes de escoamento e declive, simular o escoamento superficial da chuva, e oferecer visualizações em 2D e 3D das áreas urbanas (Fig. 28), permitindo uma compreensão mais clara do comportamento das águas pluviais (Teichmann *et al.*, 2024).

Figura 28: Visualizações de modelos no R-WIM.



Legenda da esquerda para a direita: *Display* de dados topográficos da área urbanizada de parte da cidade objeto de estudo; Visualização 3D das condições de precipitação e escoamento superficial no local – as colunas mais altas, em vermelho, representam áreas com maior acúmulo de água. Fonte: Teichmann et al. (2024, p. 14).

[25] Ferramenta projetada para o contexto da Região Morávio-Silésia, República Tcheca. O artigo não deixa claro se o *software* permite customização para aplicação em outras localidades.

O R-WIM colabora com a identificação de locais prioritários para implantação de sistemas de IVA e foi desenvolvido especificamente para auxiliar municípios a lidar com o gerenciamento das chuvas e auxiliar no planejamento urbano (Teichmann *et al.*, 2024).

De maneira geral, a utilização de novas tecnologias para a modelagem e simulação computacional representa um avanço significativo no planejamento e projeto de IVA. De modo preditivo, essa abordagem permite esboçar inúmeros cenários e testá-los quanto a efetividade de suas estratégias urbanas e ambientais. Bastante dependente de dados geográficos precisos (Czyża; Kowalczyk, 2023), essa abordagem está intimamente ligada à análise espacial, assim, a disponibilidade de dados é sua maior limitação.

A Tabela 4, em sequência, dispõe os tipos de dados, as aplicações e os resultados associados a cada uma das ferramentas de modelagem e simulação computacional identificadas pela Revisão Sistemática a Literatura dos 31 artigos que compõem o *corpus* de análise deste trabalho.

Tabela 4: Síntese de dados, aplicações e resultados das ferramentas de modelagem computacional identificadas na RSL.

	Tipos de Dados	**Aplicação e Resultados**	**Referência**
Multi-Hydro	Dados sobre uso de solo e precipitação pluviométrica	Mapas de profundidade de inundações e capacidade de infiltração. Valores de descarga para tubulações.	Versini et al. (2018)
MODCEL	Dados geoespaciais e de escoamento superficial	Mapas de inundações e profundidades	Battemarco et al. (2022) Gomes et al. (2021)
CityCAT	Dados geoespaciais e de precipitação pluviométrica	Estimativas de profundidades máximas de inundação	Dawson; Vercruysse; Wright (2020) Vercruysse et al. (2019)
MUSIC	Dados hidrológicos distintos	Quantificação de benefícios obtidos com o gerenciamento de águas pluviais	Zhang et al. (2020)
CItyWat	Dados da forma urbana como número de residências, porcentagem impermeável do solo, área verde total	Avaliação de impacto de soluções de IVA	Puchol-Salort et al. (2022)
UrbanBEATS	Dados geoespaciais: tipo de solo, uso do solo, topografia, densidade populacional	Layouts de IVA e alocação de sistemas de captação de água pluvial.	Nguyen; Bach; Pahlow (2022)

continua

PSTLIO	Dados geoespaciais: precipitação pluviométrica, topografia, uso do solo	Mapeamento de áreas potenciais para o desenvolvimento de IVA com base em demandas de serviços específicos.	Zhou; Wu (2020)
WSC Toolkit	Dados hidrológicos, ecológicos, de microclima urbano e de cenários climáticos futuros	Avaliação de benefícios de IVA em áreas distintas. Avaliação do desempenho da coleta e tratamento de águas pluviais	Zhang et al. (2020)
SSANTO	Dados geoespaciais não especificados	Mapas de adequação para implementação de dispositivos de IVA	Kuller; Reid; Prodanovic (2021) Kuller et al. (2022)
R-WIM	Dados geoespaciais, de clima, escoamento superficial, cadastro de imóveis	Mapas da área urbanizada com representação das condições de escoamento e identificação de locais críticos.	Teichmann et al. (2024)

Fonte: Elaborado pelo autor.

No decorrer deste capítulo, foi apresentado um conjunto diversificado de metodologias aplicadas ao planejamento de IVA, identificadas a partir da Revisão Sistemática da Literatura. A Análise Espacial, Análise Multicritérios e Modelagem e Simulação Computacional emergiram como pilares metodológicos, cada qual com suas particularidades e contribuições para enfrentar os desafios de gestão das águas pluviais.

A Tabela 5, disposta a seguir, sintetiza o conteúdo desta seção e apresenta, de forma concisa, as ferramentas e técnicas associadas a cada uma das abordagens metodológicas categorizadas pela RSL, bem como suas aplicações.

Tabela 5: Síntese das Ferramentas e suas Aplicações.

	Técnicas e Ferramentas	Aplicações	Referência
Análise Espacial	ArcGIS; QGIS; Scalgo; DepthMapX; MapBox; Sensoriamento Remoto; Google Earth Pro; OpenStreetMap	Identificar áreas adequadas para a implementação da IVA, mapear recursos e analisar relações espaciais.	Ahmed; Meenar; Alam, 2019; Alves et al., 2024; Czyża; Kowalczyk, 2023; Dawson; Vercruysse; Wright, 2020; Gomes et al., 2021; Kaur; Gupta, 2022; Lee, 2021; Pokrývková et al., 2021; Puchol-Salort et al., 2022; Sehrawat; Shekhar, 2024; Simperler et al., 2020; Sörensen; Persson; Olsson, 2021; Teichmann et al., 2024; Zhou; Wu, 2020

continua

Análise Multicritérios	Entrevista semiestruturada; Workshops; Grupos Focais; Q Espacial; AHP; TOPSIS	Avaliar e comparar diferentes alternativas de implementação da IVA, considerando múltiplos critérios ambientais, sociais, econômicos e técnicos.	Axelsson et al., 2021; Axelsson; Giove; Soriani, 2021; Bocheńska-Skałecka; Walter, 2020; Casiano Flores; Vikolainen; Crompvoets, 2021; Drosou et al., 2019; Kaur; Gupta, 2022; Kuller et al., 2022; Lee, 2021; O'Donnell; Lamond; Thorne, 2017, 2018; Sehrawat; Shekhar, 2024; Thorne et al., 2018
Modelagem Computacional	Multi-Hydro; MODCEL; CItyCAT; MUSIC; CityWat; UrbanBEATS; PSTLIO; SSANTO; WSC Toolkit; R-WIM	Simular o desempenho da IVA em diferentes cenários, analisar impactos e garantir o adequado fluxo de dados para um planejamento eficiente.	Battemarco et al., 2022; Dawson; Vercruysse; Wright, 2020; Gomes et al., 2021; Kuller et al., 2022; Kuller; Reid; Prodanovic, 2021; Nguyen; Bach; Pahlow, 2022; Puchol-Salort et al., 2022; Teichmann et al., 2024; Vercruysse et al., 2019; Versini et al., 2018; Zhang et al., 2020; Zhou; Wu, 2020

Fonte: Elaborado pelo autor.

A complexidade inerente ao planejamento de IVA exige uma visão integrada das abordagens metodológicas identificadas pela RSL e aqui discutidas. Ao passo que a análise espacial identifica onde intervir, as MCDA, focadas em processos participativos, definem como priorizar ações, e a modelagem computacional simula e prevê quais impactos essas ações gerarão a longo prazo.

3.6.2 Construindo um Quadro Metodológico

A construção do Quadro Metodológico parte da identificação, nos 31 artigos que compõem esta Revisão Sistemática, de uma consonância de objetivos de pesquisa. De maneira geral, os trabalhos convergem em uma ideia central: a gestão de águas pluviais nas zonas urbanas e o controle de inundações.

Nesta esfera temática, também foi possível identificar cinco objetivos específicos recorrentes nos trabalhos:

- Identificar locais apropriados para a implantação e alocação de dispositivos de Infraestrutura Verde e Azul;
- Planejar estrategicamente as redes de Infraestrutura Verde e Azul otimizando seus cobenefícios;
- Envolver as partes interessadas no planejamento de Infraestrutura Verde e Azul, promovendo o engajamento e participação pública;
- Otimizar a conectividade da paisagem e sistemas de espaços livres;
- Avaliar o desempenho de soluções e bem como os efeitos da implantação de Infraestrutura Verde e Azul na mitigação de impactos climáticos.

A partir da sistematização dos 31 artigos que compõem o *corpus* de análise desta revisão, foi possível elaborar o Quadro Metodológico que superpõe os objetivos específicos e as abordagens metodológicas identificadas.

Este quadro sintetiza a pluralidade de métodos identificados nos artigos analisados, demonstrando como diferentes perspectivas podem ser aplicadas ao planejamento e projeto de Infraestrutura Verde e Azul. De maneira estruturada, ele expõe como abordagens, técnicas e ferramentas distintas são utilizadas em diferentes contextos e objetivos, destacando a contribuição inerente de cada uma para alcançar os resultados desejados.

Além disso, o quadro demonstra que esses métodos não são excludentes, isto é, aponta para a possibilidade de combiná-los em estratégicas multidisciplinares, aproveitando-se de suas complementaridades. Na sequência, o Quadro 7 detalha essas relações.

Quadro 7: Abordagens Metodológicas para o Planejamento de IVA identificadas nos 31 artigos do *corpus* de análise.

	Identificar locais apropriados para a implantação de IVA	**Planejar estrategicamente e otimizar cobenefícios da IVA**	**Envolver as partes interessadas no planejamento de IVA**	**Otimizar a conectividade da paisagem e dos sistemas de espaços livres**	**Avaliar o desempenho de soluções e o impacto da implantação de IVA**
Análise Espacial (GIS)	Análise da morfologia espacial urbana a fim de identificar espaços verdes e azuis (Ahmed; Meenar; Alam, 2019). Criar, editar e manipular conjuntos de dados geoespaciais para otimizar a locação de componentes de IVA (Czyża; Kowalczyk, 2023). Identificar áreas de origem e de risco de inundação (Dawson; Vercruysse; Wright, 2020; Vercruysse *et al.*, 2019). Produzir mapas de adequabilidade (Kaur; Gupta, 2022; Kuller; Reid; Prodanovic, 2021). Cálculo de escoamento e identificação de locais para medidas de retenção de água (Pokrývková *et al.*, 2021).	Coletar, armazenar, integrar e analisar dados espaciais de diversas fontes (Czyża; Kowalczyk, 2023). Criação de uma estrutura de gestão de dados especificamente para o planejamento estratégico de IVA (Sörensen; Persson; Olsson, 2021). Análise de mapas de benefícios para informar decisões estratégicas (O'Donnell; Lamond; Thorne, 2017).	Facilitar o engajamento fornecendo visualizações claras, por meio de mapas, de potenciais locais para implantação de IVA, seus benefícios e impactos (Alves et al., 2024).	Identificar, em múltiplas escalas, elementos verdes e azuis que possam ser conectados para promoção de múltiplas funções ecossistêmicas (Ahmed; Meenar; Alam, 2019). Análise de sistemas de espaços abertos e potencial de conexão de fragmentos por corredores verdes (Gomes et al., 2021). Análise de caminho de menor custo para identificar potenciais corredores de IVA para promoção de redes conectadas (Kaur; Gupta, 2022).	Pré-avaliar cursos d'água existentes quanto à sua adequabilidade para apoiar a gestão de águas pluviais (Simperler *et al.*, 2020).

continua

	Identificar locais apropriados para a implantação de IVA	**Planejar estrategicamente e otimizar cobenefícios da IVA**	**Envolver as partes interessadas no planejamento de IVA**	**Otimizar a conectividade da paisagem e dos sistemas de espaços livres**	**Avaliar o desempenho de soluções e o impacto da implantação de IVA**
Análise Multicritérios (MCDA)	Combinação de métodos GIS-MCDA para identificar áreas prioritárias, considerando critérios sobre as características locais e requisitos da IVA (Alves et al., 2024). Combinação GIS-AHP para avaliar adequabilidade local desenvolvendo uma matriz de comparação estabelecendo pesos para múltiplos critérios (Kaur; Gupta, 2022; Sehrawat; Shekhar, 2024; Teichmann et al., 2024).	Selecionar medidas que maximizam o impacto para os objetivos definidos a partir da atribuição de pesos para distintos desafios (Alves et al., 2024). Priorizar soluções de gestão de inundações considerando múltiplos critérios (Axelsson et al., 2021; Axelsson; Giove; Soriani, 2021). Identificar barreiras ao planejamento e à implementação de IVA em diferentes contextos (Deely et al., 2020; Drosou et al., 2019; Thorne et al., 2018). Permite desenvolver um plano de longo prazo para as soluções a serem implementadas (Alves et al., 2024).	Combinação GIS-MCDA para identificar e mapear perspectivas de diferentes partes interessadas em relação a um determinado local (Lee, 2021). Promover a união das partes interessadas para coproduzir conhecimento e negociar ações (O'Donnell; Lamond; Thorne, 2018). Incorporar preferências das partes interessadas através da definição e ponderação de critérios (Axelsson; Giove; Soriani, 2021). Avaliar a governança de projetos de IVA com base em critérios de coerência, flexibilidade, recursos e responsabilidades (Casiano Flores; Vikolainen; Crompvoets, 2021). Compreender práticas sociais existentes e preferencias da comunidade ao projetar e gerir espaços de IVA (Lamond; Everett, 2019).	Inclusão de critérios relacionados à conectividade de distintos elementos de IVA ao avaliar locais potenciais para intervenção (Battemarco et al., 2022).	Incorporar julgamentos subjetivos para avaliar o desempenho de alternativas de decisão (Kuller et al., 2022).

continua

	Identificar locais apropriados para a implantação de IVA	**Planejar estrategicamente e otimizar cobenefícios da IVA**	**Envolver as partes interessadas no planejamento de IVA**	**Otimizar a conectividade da paisagem e dos sistemas de espaços livres**	**Avaliar o desempenho de soluções e o impacto da implantação de IVA**
Modelagem e Simulação Computacional	Mapear áreas prioritárias e oportunidades de integração de sistemas de IVA (Dawson; Vercruysse; Wright, 2020). Prever a localização ideal de componentes de IVA (Czyża; Kowalczyk, 2023). Simular intensidade de escoamento, fator importante na avaliação de adequabilidade (Zhou; Wu, 2020). Análise de dependência celular das chuvas a fim de planejar intervenções eficazes para gestão de inundações (Vercruysse et al., 2019).	Explorar diferentes cenários de implementação de IVA prevendo seus potenciais benefícios (Zhang et al., 2020). Otimizar layouts de IVA para atender a múltiplas demandas (Zhou; Wu, 2020). Prever os efeitos da IAV nos serviços ecossistêmicos urbanos, incluindo co benefícios, durante a etapa de planejamento (Sörensen; Persson; Olsson, 2021).	Combinada com visualizações espaciais acessíveis, pode ajudar na comunicação dos potenciais resultados da implementação de IVA às partes interessadas (Zhang *et al.*, 2020). Envolver as partes interessadas em um processo de design integrado (Bocheńska-Skałecka; Walter, 2020).	Propor a criação de redes de corredores guiadas pelo princípio de conectar corpos d'água e áreas verdes, potenciais e existentes (Zhou; Wu, 2020).	Simular distintos cenários e avaliar o desempenho de diferentes sistemas de coleta de águas pluviais e seu impacto na resiliência urbana (Nguyen; Bach; Pahlow, 2022); Simular cenários e avaliar o impacto da alternativa proposta (Battemarco et al., 2022); Estudar o desempenho de um sistema de IVA e sua evolução frente aos períodos de retorno de eventos de chuva (Versini et al., 2018); Avaliar indicadores de segurança hídrica e simular o fluxo e qualidade das águas (Puchol-Salort et al., 2022);

Fonte: Elaborado pelo autor.

A superposição de dados espaciais, ponderações de múltiplos critérios e modelagens computacionais, pode tornar possível o desenvolvimento de soluções adaptativas, tecnicamente robustas e socialmente inclusivas. Contudo, a real efetividade deste quadro não está apenas condicionada à sua aplicação técnica, mas também da superação de desafios contextuais inerentes ao planejamento da paisagem urbana.

Transcendendo uma visão tradicional de planejamento das estruturas de drenagem urbana, a IVA tem a capacidade de redefinir a paisagem das cidades e suas relações socioambientais. Ao longo deste capítulo, evidenciou-se que, ainda que os desafios sejam notáveis, estratégias para superá-los estão sendo desenvolvidas e testadas em todo o mundo, inclusive no Brasil. Cabe, portanto, aos planejadores urbanos ampliá-las, adaptá-las e aplicá-las, de modo a transformar as cidades em locais mais resilientes, justos e integrados aos sistemas naturais da paisagem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação, fruto de uma extensa pesquisa motivada por investigar estratégias metodológicas para a implementação de Infraestrutura Verde e Azul (IVA) com foco no manejo de águas pluviais, se consolidou em três eixos interligados: a evolução histórica do planejamento da paisagem; a conceituação da Infraestrutura Verde e Azul; e a análise crítica de métodos para sua aplicação prática.

No primeiro capítulo, de modo resgatar a trajetória do planejamento da paisagem europeu e estadunidense desde o século XIX, foi possível observar as relações entre a crescente urbanização e a preservação ambiental, relatando de que modo natureza e cidade se entrelaçaram, configurando as paisagens urbanas que hoje conhecemos. O advento da Ecologia da Paisagem e do Movimento dos Corredores Verdes nos Estados Unidos, por exemplo, evidenciou a consolidação de uma abordagem sistêmica e ecológica que fundamentou conceitos como a Infraestrutura Verde.

O segundo capítulo discutiu as bases conceituais da Infraestrutura Verde, e Verde e Azul, como síntese entre conservação ambiental e funcionalidade urbana. Também foi abordado o conceito de Soluções baseadas na Natureza (SbN), que, de modo geral, são entendidas como as ações inspiradas pela natureza e soluções que mimetizam processos ecossistêmicos naturais, promovendo benefícios à biodiversidade, ao mesmo tempo em que melhoram o bem-estar humano.

Por serem definidas de maneiras tão similares, há ainda certa ambiguidade entre os conceitos de IVA e de SbN, sendo tratados, em alguns casos, como sinônimos. Com base na revisão bibliográfica, é possível compreender as SbNs como um guarda-chuva conceitual que engloba todas as ações tomadas em prol da sustentabilidade urbana, e que tomam como base a manutenção de funções ecossistêmicas, dentre elas, a IVA. Ao mesmo tempo, a IVA é entendida, concretamente, como uma rede interconectada multifuncional de componentes da paisagem, naturais ou artificiais, que preserva funções ecossistêmicas e provém serviços ecossistêmicos essenciais às comunidades. Sob essa ótica, uma rede de IVA se materializa através da combinação de elementos projetados de infraestrutura convencional com distintas tipologias de Soluções baseadas na Natureza, em múltiplas escalas.

Ao longo deste trabalho, foi possível constatar que a Infraestrutura Verde e Azul se coloca como uma estratégia fundamental para o planejamento da paisagem urbana. Embora seja um termo relativamente recente, sendo uma publicação de 2017 o trabalho mais antigo incluído na revisão apresentada no terceiro capítulo, nota-se um crescente interesse pelas pesquisas nesta temática. A Análise Bibliométrica e a Revisão Sistemática da Literatura permitiram mapear tendências nas aplicações de IVA, e a sistematização de métodos, técnicas e ferramentas revelou a predominância de três abordagens metodológicas: a análise espacial; a análise multicritérios; e a modelagem e simulação computacional. Os resultados apontaram para a uma concentração de estudos no contexto do Norte Global, limitando, de certa forma, a transferibilidade de soluções para regiões com realidades socioeconômicas distintas.

No campo teórico, este trabalho oferece uma revisão crítica da evolução do planejamento de IVA, e traz como contribuição acadêmica a sistematização dessas estratégias metodológicas, de modo a dispor uma base consolidada para pesquisas futuras. Como contribuição prática, o Quadro Metodológico pode atuar como um instrumento orientador para planejadores urbanos, especialmente em cidades com desafios relacionados à gestão de águas pluviais.

Para pesquisas futuras sugere-se: aplicar o Quadro Metodológico em contextos do Sul Global, avaliando sua eficácia em realidades com escassez de dados, e com desigualdades socioespaciais mais acentuadas; investigar de que modo políticas públicas urbanas, especialmente na forma de planos diretores e legislações ambientais, podem ser capazes de integrar a IVA; e explorar o potencial de novas tecnologias, como as de modelagem preditiva, para otimizar o planejamento e o projeto de soluções sustentáveis para o manejo de águas pluviais.

Em meio ao cenário atual de crise climática e urbanização acelerada, esta dissertação reforça a Infraestrutura Verde e Azul não apenas como uma alternativa, mas uma necessidade para cidades resilientes. Vinculando passado, presente e futuro do planejamento da paisagem, este trabalho destaca que a aplicabilidade da IVA exige tanto inovação técnica, quanto um resgate crítico de saberes acumulados.

REFERÊNCIAS

AHERN, Jack. Green infrastructure for cities: The spatial dimension. *In*: NOVOTNY, Vladimir; BROWN, Paul (org.). **Cities of the Future Towards Integrated Sustainable Water and Landscape Managemet**. Londres: IWA Publishing, 2007. p. 267–283.

AHERN, Jack. Greenways as a planning strategy. **Landscape and Urban Planning**, [*s. l.*], v. 33, n. 1–3, p. 131–155, 1995. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/016920469502039V. Acesso em: 28 abr. 2024.

AHERN, Jack. Greenways in the USA: theory, trends and prospects. *In*: JONGMAN, Rob H. G.; PUNGETTI, Gloria (org.). **Ecological networks and greenways: concept, design implementation**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. p. 34–55.

AHERN, Jack. Planning and Design for Sustainable and Resilient Cities: Theories, Strategies, and Best Practices for Green Infrastructure. *In*: NOVOTNY, Vladimir; AHERN, Jack; BROWN, Paul (org.). **Water Centric Sustainable Communities: Planning. Retrofitting, and Building the Next Urban Environment**. [*S. l.*]: John Wiley & Sons, 2010. p. 135–176.

AHERN, Jack; PELLEGRINO, Paulo; BECKER, Newton. Infraestrutura verde: desempenho, estética, custos e método. *In*: COSTA, Lucia Maria Sá Antunes; MACHADO, Denise Barcelllos Pinheiro (org.). **Conectividade e resiliência: estratégias de projeto para a metrópole**. Rio de Janeiro: Rio Book's: PROURB, 2012. p. 35–52.

AHMED, Sanjana; MEENAR, Mahbubur; ALAM, Ashraful. Designing a Blue-Green Infrastructure (BGI) Network: Toward Water-Sensitive Urban Growth Planning in Dhaka, Bangladesh. **Land**, [*s. l.*], v. 8, n. 9, p. 138, 2019. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-445X/8/9/138. Acesso em: 14 mar. 2024.

ALLAN, J. A. Water in the Environment/Socio-Economic Development Discourse: Sustainability, Changing Management Paradigms and Policy Responses in a Global System. **Government and Opposition**, [*s. l.*], v. 40, n. 2, p. 181–199, 2005. Disponível em: https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0017257X00001731/type/journal_article. Acesso em: 3 jan. 2025.

ALMAAITAH, Tamer *et al*. The potential of Blue-Green infrastructure as a climate change adaptation strategy: a systematic literature review. **Blue-Green Systems**, [*s. l.*], v. 3, n. 1, p. 223–248, 2021. Disponível em: https://iwaponline.com/bgs/article/3/1/223/85658/The-potential-of-Blue-Green-infrastructure-as-a. Acesso em: 29 fev. 2024.

ALVES, Alida *et al*. Planning the multifunctionality of nature-based solutions in urban spaces. **Cities**, [*s. l.*], v. 146, p. 104751, 2024. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264275123005632. Acesso em: 14 mar. 2024.

AXELSSON, Charles *et al*. Urban Pluvial Flood Management Part 2: Global Perceptions and Priorities in Urban Stormwater Adaptation Management and Policy Alternatives. **Water**, [*s. l.*], v. 13, n. 17, p. 2433, 2021. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4441/13/17/2433. Acesso em: 14 mar. 2024.

AXELSSON, Charles; GIOVE, Silvio; SORIANI, Stefano. Urban Pluvial Flood Management Part 1: Implementing an AHP-TOPSIS Multi-Criteria Decision Analysis Method for Stakeholder Integration in Urban Climate and Stormwater Adaptation. **Water**, [*s. l.*], v. 13, n. 17, p. 2422, 2021. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4441/13/17/2422. Acesso em: 14 mar. 2024.

BARTESAGHI KOC, Carlos; OSMOND, Paul; PETERS, Alan. Towards a comprehensive green infrastructure typology: a systematic review of approaches, methods and typologies. **Urban Ecosystems**, [*s. l.*], v. 20, n. 1, p. 15–35, 2017. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/s11252-016-0578-5. Acesso em: 3 jan. 2024.

BATTEMARCO, Bruna Peres *et al*. Water dynamics and blue-green infrastructure (BGI): Towards risk management and strategic spatial planning guidelines. **Journal of Cleaner Production**, [*s. l.*], v. 333, p. 129993, 2022. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652621041615. Acesso em: 14 mar. 2024.

BELEM, Anderson Luiz Godinho. **Diálogos em ecologia urbana**. Curitiba: InterSaberes, 2020.

BENEDICT, Mark A.; MCMAHON, Edward T. **Green infrastructure: linking landscapes and communities**. [*S. l.*]: Island Press, 2006.

BENEDICT, Mark A.; MCMAHON, Edward T. **Green Infrastructure: Smart Conservation for the 21st Century**. Washington, DC: Sprawl Watch Clearinghouse, 2002.

BERTRAND-KRAJEWSKI, Jean-Luc. Integrated urban stormwater management: Evolution and multidisciplinary perspective. **Journal of Hydro-environment Research**, [*s. l.*], v. 38, p. 72–83, 2021. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1570644320304159. Acesso em: 31 jan. 2024.

BOCHEŃSKA-SKAŁECKA, Anna; WALTER, Ewa. Application of the Integrated Design Process (IDP) Method to the Design of Riverside on the Example of Żmigród (Poland). **Sustainability**, [*s. l.*], v. 12, n. 16, p. 6684, 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/16/6684. Acesso em: 14 mar. 2024.

BONZI, Ramón Stock. **A dimensão infraestrutural da paisagem: uma estratégia para a "crise hídrica" da Grande São Paulo**. 2019. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

BONZI, Romón Stock. Paisagem como infraestrutura. *In*: PELLEGRINO, Paulo Renato Mesquita; MOURA, Newton Becker (org.). **Estratégias para uma infraestrutura verde**. Barueri, SP: Manole, 2017. p. 1–24.

BOSTON PUBLIC LIBRARY. **Plan of portion of park system from Common to Franklin Park**. [*S. l.*: *s. n.*], 1894. Disponível em: https://collections.leventhalmap.org/search/commonwealth:ht2503205. Acesso em: 21 jun. 2024.

BOWER, Blair T. MacKaye, Benton, The New Exploration. **Natural Resources Journal**, [*s. l.*], v. 3, p. 371–374, 1963. Disponível em: https://digitalrepository.unm.edu/nrj/vol3/iss2/14/. Acesso em: 15 jul. 2024.

BREARS, Robert C. **Blue and Green Cities: The Role of Blue-Green Infrastructure in Managing Urban Water Resources**. London: Palgrave Macmillan UK, 2018.

CARSON, Rachel. **Silent Spring**. Boston: Houghton Mifflin Company / The University Press, 1962.

CASIANO FLORES, Cesar; VIKOLAINEN, Vera; CROMPVOETS, Joep. Governance assessment of a blue-green infrastructure project in a small size city in Belgium. The potential of Herentals for a leapfrog to water sensitive. **Cities**, [*s. l.*], v. 117, p. 103331, 2021. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264275121002316. Acesso em: 14 mar. 2024.

CHARGEL, Leonardo Tristão. **Avaliação do uso de modelos hidrodinâmicos, suas limitações, efeitos de escala e da representação topográfica**. 2018. Dissertação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

CHATZIMENTOR, Anastasia; APOSTOLOPOULOU, Evangelia; MAZARIS, Antonios D. A review of green infrastructure research in Europe: Challenges and opportunities. **Landscape and Urban Planning**, [*s. l.*], v. 198, 2020. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169204619303299.

CHUEKE, Gabriel Vouga; AMATUCCI, Marcos. O que é bibliometria? Uma introdução ao Fórum. **Internext**, [*s. l.*], v. 10, n. 2, p. 1–5, 2015. Disponível em: https://internext.espm.br/internext/article/view/330. Acesso em: 3 fev. 2025.

COHEN-SHACHAM, E. *et al*. **Nature-based solutions to address global societal challenges**. [*S. l.*]: IUCN International Union for Conservation of Nature, 2016.

COMISSÃO EUROPEIA. **Infraestrutura Verde - Valorizar o Capital Natural da Europa**. Bruxelas: Comissão Europeia, 2013. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d41348f2-01d5-4abe-b817-4c73e6f1b2df.0009.04/DOC_1&format=PDF. Acesso em: 3 maio 2024.

COMISSÃO EUROPEIA. **Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities – Final report of the Horizon 2020 expert group on "Nature-based solutions and re-naturing cities" – (full version)**. [*S. l.*]: Publications Office, 2015. Disponível em: https://data.europa.eu/doi/10.2777/479582. Acesso em: 17 jun. 2024.

CONSTANTINO, Norma Regina Truppel. Jardins Ingleses. *In*: ENOKIBARA, Marta; CONSTANTINO, Normal Regina Truppel (org.). **Jardins na História**. Tupã: ANAP, 2022. v. 1, p. 93–126.

CORMIER, Nathaniel S.; PELLEGRINO, Paulo Renato Mesquita. Infra-estrutura verde: uma estratégia paisagística para a água urbana. **Paisagem e Ambiente**, [*s. l.*], n. 25, p. 127, 2008. Disponível em: https://revistas.usp.br/paam/article/view/105962. Acesso em: 29 fev. 2024.

COSTA, Lucia M. S. A.; FARAH, Ivete M. C.; BOUCINHAS, Caio. Trialogue Processes in Landscape Design. *In*: , 2007, Antuérpia, Bélgica. **43rd ISoCaRP Congress**. Antuérpia, Bélgica: [*s. n.*], 2007. Disponível em: https://www.isocarp.net/Data/case_studies/1083.pdf. Acesso em: 22 jun. 2024.

COSTA, Lucia Maria Sá Antunes; MACHADO, Denise Barcellos Pinheiro. Paisagem e projetos urbanos. *In*: COSTA, Lucia Maria Sá Antunes; MACHADO, Denise Barcellos Pinheiro (org.). **Conectividade e resiliência: estratégias de projeto para a metrópole**. Rio de Janeiro: Rio Book's: PROURB, 2012. p. 7–18.

COSTANZA, Robert *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, [*s. l.*], v. 387, n. 6630, p. 253–260, 1997.

CRUIJSEN, Anna. **Design opportunities for flash flood reduction by improving the quality of the living environment**. 2015. Dissertação (Mestrado) - Delft University of Technology, Delft, Países Baixos, 2015.

CRWA, Charles River Watershed Association. **Stormwater Planter**. Boston, EUA: [*s. n.*], 2008. Disponível em: https://nacto.org/docs/usdg/stormwater_planter_crwa.pdf. Acesso em: 20 ago. 2024.

CZYŻA, Szymon; KOWALCZYK, Anna M. GIS and geodata contribution to the cartographic modelling of blue-green infrastructure in urbanised areas. **Journal of Water and Land Development**, [*s. l.*], v. 59, p. 183–194, 2023. Disponível em: https://journals.pan.pl/dlibra/publication/147243/edition/129989/content. Acesso em: 14 mar. 2024.

DANIELS, Thomas. McHarg's theory and practice of regional ecological planning: retrospect and prospect. **Socio-Ecological Practice Research**, [*s. l.*], v. 1, n. 3–4, p. 197–208, 2019. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/s42532-019-00024-4. Acesso em: 2 jul. 2024.

DAWSON, David A.; VERCRUYSSE, Kim; WRIGHT, Nigel. A spatial framework to explore needs and opportunities for interoperable urban flood management. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, [*s. l.*], v. 378, n. 2168, p. 20190205, 2020. Disponível em: https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2019.0205. Acesso em: 14 mar. 2024.

DEELY, John *et al.* Barrier identification framework for the implementation of blue and green infrastructures. **Land Use Policy**, [*s. l.*], v. 99, p. 105108, 2020. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264837720304610. Acesso em: 14 mar. 2024.

DOBSON, Barnaby; MIJIC, Ana. Protecting rivers by integrating supply-wastewater infrastructure planning and coordinating operational decisions. **Environmental Research Letters**, [*s. l.*], v. 15, n. 11, p. 114025, 2020. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abb050. Acesso em: 31 jan. 2025.

DRAMSTAD, Wenche E.; OLSON, James D.; FORMAN, Richard T. T. **Landscape Ecology Principles in Landscape Architecture and Land-use Planning**. Washington, DC: Island Press, 1996.

DROSOU, Nafsika *et al.* Key Factors Influencing Wider Adoption of Blue–Green Infrastructure in Developing Cities. **Water**, [*s. l.*], v. 11, n. 6, p. 1234, 2019. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4441/11/6/1234. Acesso em: 14 mar. 2024.

EGGERMONT, Hilde *et al.* Nature-based Solutions: New Influence for Environmental Management and Research in Europe. **GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society**, [*s. l.*], v. 24, n. 4, p. 243–248, 2015. Disponível em: https://www.ingentaconnect.com/content/10.14512/gaia.24.4.9. Acesso em: 14 jul. 2024.

FABOS, Julius Gy. Greenway planning in the United States: its origins and recent case studies. **Landscape and Urban Planning**, [*s. l.*], v. 68, n. 2–3, p. 321–342, 2004. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169204603001610. Acesso em: 3 jul. 2024.

FABOS, Julius Gy. Introduction and overview: the greenway movement, uses and potentials of greenways. **Landscape and Urban Planning**, [*s. l.*], v. 33, n. 1–3, p. 1–13, 1995. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/016920469502035R. Acesso em: 3 jul. 2024.

FARAH, Ivete. Tramas verde e azul como ferramenta para o desenvolvimento sustentável: o caso de Paris. *In*: COSTA, Lucia Maria Sá Antunes; MACHADO, Denise Barcellos Pinheiro (org.). **Conectividade e resiliência: estratégias de projeto para metrópole**. Rio de Janeiro: Rio Book's: PROURB, 2012. p. 85–124.

FERREIRA, Vera *et al.* Stakeholders' Engagement on Nature-Based Solutions: A Systematic Literature Review. **Sustainability**, [*s. l.*], v. 12, n. 2, p. 640, 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/2/640. Acesso em: 23 maio 2024.

FERREIRA, José Carlos; MACHADO, João Reis. Infra-estruturas verdes para um futuro urbano sustentável. O contributo da estrutura ecológica e dos corredores verdes. **Revista LABVERDE**, [*s. l.*], v. 0, n. 1, p. 69, 2010. Disponível em: http://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/61279. Acesso em: 24 abr. 2024.

FLETCHER, Tim D. *et al.* 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. Disponível em: http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1573062X.2014.916314. Acesso em: 16 ago. 2024.

FLINK, Charles A. THE AMERICAN GREENWAY MOVEMENT. **Canadian Water Resources Journal**, [*s. l.*], v. 18, n. 4, p. 485–492, 1993.

FLINK, Charles A.; SEARNS, Robert M. **Greenways: a guide to planning, design and development**. Washington, DC: Island Press, 1993.

FLORIDA GREENWAYS COMISSION. **Creating a Statewide Greenways System: For People, for Wildlife, for Florida**. Tallahassee: [*s. n.*], 1994.

FORESTIER, Jean-Claude Nicolas. **Grandes villes et systèmes de parcs**. Paris: Hachette Et Cie, 1908.

FORMAN, Richard T. T. An ecology of the landscape. **BioScience**, [*s. l.*], v. 33, n. 9, p. 535, 1983.

FORMAN, Richard T. T. **Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

FORMAN, Richard T. T.; GODRON, Michel. **Landscape Ecology**. 1. ed. [*S. l.*]: John Wiley & Sons, 1986.

FRAGA, Raiza Gomes. **Soluções baseadas na Natureza: elementos para a tradução do conceito às políticas públicas brasileiras**. 2020. Doutorado - Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

FRANCO, Maria De Assunção Ribeiro. Infraestrutura Verde em São Paulo: o caso do Corredor Verde Ibirapuera-Villa Lobos. **Revista LABVERDE**, [*s. l.*], v. 0, n. 1, p. 135, 2010. Disponível em: http://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/61284. Acesso em: 11 abr. 2024.

FRIEDMANN, John; WEAVER, Clyde. **Territory and Function: The Evolution of Regional Planning**. Berkeley: University of California Press, 1979.

FRISCHENBRUDER, Marisa T. Mamede; PELLEGRINO, Paulo. Using greenways to reclaim nature in Brazilian cities. **Landscape and Urban Planning**, [*s. l.*], v. 76, n. 1–4, p. 67–78, 2006. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169204604001343. Acesso em: 27 jun. 2024.

GALVÃO, Maria Cristiane Barbosa; RICARTE, Ivan Luiz Marques. Revisão Sistemática da Literatura: Conceituação, Produção e Publicação. **Logeion: Filosofia da Informação**, [*s. l.*], v. 6, n. 1, p. 57–73, 2019.

GEDDES, Patrick. **Cities in Evolution**. New York: Harper & Row Publishers, 1968.

GHOFRANI, Zahra; SPOSITO, Victor; FAGGIAN, Robert. A Comprehensive Review of Blue-Green Infrastructure Concepts. **International Journal of Environment and Sustainability**, [*s. l.*], v. 6, n. 1, 2017. Disponível em: https://www.sciencetarget.com/Journal/index.php/IJES/article/view/728. Acesso em: 18 jul. 2024.

GHOFRANI, Z.; SPOSITO, V.; FAGGIAN, R. Designing resilient regions by applying Blue-Green Infrastructure concepts. *In*: , 2016. **11 International th Conference on Urban Regeneration and Sustainability**. [*S. l.: s. n.*], 2016. p. 493–505. Disponível em: http://library.witpress.com/viewpaper.asp?pcode=SC16-042-1. Acesso em: 18 jul. 2024.

GLENIS, V.; KUTIJA, V.; KILSBY, C.G. A fully hydrodynamic urban flood modelling system representing buildings, green space and interventions. **Environmental Modelling & Software**, [*s. l.*], v. 109, p. 272–292, 2018. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364815217310009. Acesso em: 15 dez. 2024.

GOMES, Maria Vitória Ribeiro *et al*. The use of blue-green infrastructure as a multifunctional approach to watersheds with socio-environmental vulnerability. **Blue-Green Systems**, [*s. l.*], v. 3, n. 1, p. 281–297, 2021. Disponível em: https://iwaponline.com/bgs/article/3/1/281/85662/The-use-of-blue-green-infrastructure-as-a. Acesso em: 14 mar. 2024.

GRABOWSKI, Zbigniew J *et al*. What is green infrastructure? A study of definitions in US city planning. **Frontiers in Ecology and the Environment**, [*s. l.*], v. 20, n. 3, p. 152–160, 2022. Disponível em: https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fee.2445. Acesso em: 3 jul. 2024.

GRIMM, Nancy B. *et al*. Nature-based solutions and climate change resilience. *In*: MCPHEARSON, Timon; KABISCH, Nadja; FRANTZESKAKI, Niki (org.). **Nature-Based Solutions for Cities**. Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2023. p. 14–29.

HAASE, Dagmar. Reflections about blue ecosystem services in cities. **Sustainability of Water Quality and Ecology**, [*s. l.*], v. 5, p. 77–83, 2015. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212613915000112. Acesso em: 3 jun. 2024.

HALL, Peter. **Cidades do amanhã: uma história intelectual do planejamento e do projeto urbanos no século XX**. 4. ed. São Paulo: Perspectiva, 2016.

HANSEN, Rieke; PAULEIT, Stephan. From Multifunctionality to Multiple Ecosystem Services? A Conceptual Framework for Multifunctionality in Green Infrastructure Planning for Urban Areas. **AMBIO**, [*s. l.*], v. 43, n. 4, p. 516–529, 2014. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/s13280-014-0510-2. Acesso em: 3 jun. 2024.

HENRIQUE, Lucas Rafael Bortolotto; ENOKIBARA, Marta. **Data for: Metodologias aplicadas ao Planejamento e Projeto de Infraestrutura Verde e Azul**. Bauru, SP: Medeley Data, 2025. Disponível em: https://data.mendeley.com/datasets/3rjgxhrxp9/1. Acesso em: 24 fev. 2025.

HERZOG, Cecília Polacow. **Cidades para todos: (re) aprendendo a conviver com a natureza**. 1. ed. Rio de Janeiro: MAUAD Editora Ltda, 2013.

HERZOG, Cecília Polacow; ROSA, Lourdes Zunino. Infraestrutura Verde: Sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. **Revista LABVERDE**, [*s. l.*], n. 1, p. 92, 2010. Disponível em: http://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/61281. Acesso em: 31 mar. 2024.

HERZOG, Cecilia P.; ROZADO, Carmen Antuña. **Diálogo Setorial UE-Brasil sobre soluções baseadas na natureza: Contribuição para um roteiro brasileiro de soluções baseadas na natureza para cidades resilientes**. Bruxelas: União Europeia, 2019.

HORTENCIO, Leonardo Marques. Cidade-Região - Revisão de conceitos a partir de uma perspectiva histórica. *In*: , 2015, Belo Horizonte. **Anais do XVI ENANPUR**. Belo Horizonte: ENANPUR, 2015. Disponível em: https://anais.anpur.org.br/index.php/anaisenanpur/article/view/1630. Acesso em: 15 jul. 2024.

HOWARD, Ebenezer. **Garden Cities of To-morrow**. Londres: Faber and Faber Ltd, 1902.

INGEGNOLI, Vittorio. **Landscape Ecology: A Widening Foundation**. Nova York: Springer-Verlag, 2002.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 2022. Disponível em: https://report.ipcc.ch/ar6/wg2/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf. Acesso em: 3 maio 2024.

IUCN, União Internacional Para a Conservação da Natureza. **No time to lose – make full use of nature-based solutions in the post-2012 climate change regime**. Copenhagen: [*s. n.*], 2009. Disponível em: https://iucn.org/sites/default/files/import/downloads/iucn_position_paper_unfccc_cop_15_1.pdf. Acesso em: 18 ago. 2024.

JIMÉNEZ, Marina; DE LAS RIVAS, Juan Luis. Ecos de Olmsted en Europa. El sistema de parques y los orígenes del urbanismo europeo contemporáneo. **Ra. Revista de Arquitectura**, [*s. l.*], v. 20, p. 86–103, 2018.

JONGMAN, Rob H. G. The context and concept of ecological networks. *In*: JONGMAN, Rob H. G.; PUNGETTI, Gloria (org.). **Ecological networks and greenways: concept, design implementation**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. p. 7–33.

JONGMAN, Rob H.G.; KÜLVIK, Mart; KRISTIANSEN, Ib. European ecological networks and greenways. **Landscape and Urban Planning**, [*s. l.*], v. 68, n. 2–3, p. 305–319, 2004.

JONGMAN, Rob H. G.; PUNGETTI, Gloria. Introduction: ecological networks and greenways. *In*: JONGMAN, Rob H. G.; PUNGETTI, Gloria (org.). **Ecological networks and greenways: concept, design, implementation**. [*S. l.*]: Cambridge University Press, 2004. p. 1–6.

KAUR, Ravnish; GUPTA, Kshama. Blue-Green Infrastructure (BGI) network in urban areas for sustainable storm water management: A geospatial approach. **City and Environment Interactions**, [*s. l.*], v. 16, p. 100087, 2022. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2590252022000095. Acesso em: 14 mar. 2024.

KIM, Donghyun; SONG, Seul-Ki. The Multifunctional Benefits of Green Infrastructure in Community Development: An Analytical Review Based on 447 Cases. **Sustainability**, [*s. l.*], v. 11, n. 14, p. 3917, 2019. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/11/14/3917. Acesso em: 30 jun. 2024.

KORKOU, Maria; TARIGAN, Ari K.M.; HANSLIN, Hans Martin. The multifunctionality concept in urban green infrastructure planning: A systematic literature review. **Urban Forestry & Urban Greening**, [*s. l.*], v. 85, p. 127975, 2023. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1618866723001462. Acesso em: 6 jul. 2024.

KULLER, Martijn *et al.* Planning support systems for strategic implementation of nature-based solutions in the global south: Current role and future potential in Indonesia. **Cities**, [*s. l.*], v. 126, p. 103693, 2022. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264275122001329. Acesso em: 14 mar. 2024.

KULLER, Martijn; REID, David J.; PRODANOVIC, Veljko. Are we planning blue-green infrastructure opportunistically or strategically? Insights from Sydney, Australia. **Blue-Green Systems**, [*s. l.*], v. 3, n. 1, p. 267–280, 2021. Disponível em: https://iwaponline.com/bgs/article/3/1/267/85660/Are-we-planning-blue-green-infrastructure. Acesso em: 14 mar. 2024.

KVAMSÅS, Hanna. Addressing the adaptive challenges of alternative stormwater planning. **Journal of Environmental Policy & Planning**, [*s. l.*], v. 23, n. 6, p. 809–821, 2021. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1523908X.2021.1921568. Acesso em: 12 maio 2024.

KVAMSÅS, Hanna. Co-benefits and conflicts in alternative stormwater planning: Blue versus green infrastructure?. **Environmental Policy and Governance**, [*s. l.*], v. 33, n. 3, p. 232–244, 2023. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/eet.2017. Acesso em: 12 maio 2024.

LAMOND, Jessica; EVERETT, Glyn. Sustainable Blue-Green Infrastructure: A social practice approach to understanding community preferences and stewardship. **Landscape and Urban Planning**, [*s. l.*], v. 191, p. 103639, 2019. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169204618309770. Acesso em: 14 mar. 2024.

LEE, Jae-hyuck. Collaborative spatial planning for blue-green infrastructure using the spatial q methodology: case study of Siheung Hojobul Wetland, Korea. **Landscape and Ecological Engineering**, [*s. l.*], v. 17, n. 4, p. 481–491, 2021. Disponível em: https://link.springer.com/10.1007/s11355-021-00468-5. Acesso em: 14 mar. 2024.

LIAO, Kuei-Hsien. The socio-ecological practice of building blue-green infrastructure in high-density cities: what does the ABC Waters Program in Singapore tell us?. **Socio-Ecological Practice Research**, [*s. l.*], v. 1, n. 1, p. 67–81, 2019. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/s42532-019-00009-3. Acesso em: 11 maio 2024.

LIAO, Kuei-Hsien; DENG, Shinuo; TAN, Puay Yok. Blue-Green Infrastructure: New Frontier for Sustainable Urban Stormwater Management. *In*: TAN, Puay Yok; JIM, Chi Yung (org.). **Greening Cities: Forms and Functions**. Singapore: Springer Nature, 2017. p. 203–226.

LITTLE, Charles. **Greenways for America**. [*S. l.*]: Johns Hopkins University Press, 1990.

LIU, Li; FRYD, Ole; ZHANG, Shuhan. Blue-Green Infrastructure for Sustainable Urban Stormwater Management—Lessons from Six Municipality-Led Pilot Projects in Beijing and Copenhagen. **Water**, [*s. l.*], v. 11, n. 10, p. 2024, 2019. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4441/11/10/2024. Acesso em: 3 abr. 2024.

LOVELL, Sarah Taylor; TAYLOR, John R. Supplying urban ecosystem services through multifunctional green infrastructure in the United States. **Landscape Ecology**, [*s. l.*], v. 28, n. 8, p. 1447–1463, 2013. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/s10980-013-9912-y. Acesso em: 3 jul. 2024.

LOWENTHAL, David. **George Perkins Marsh: prophet of conservation**. Seattle: University of Washington Press, 2000.

MACKINNON, Kathy; SOBREVILA, Claudia; HICKEY, Valerie. **Biodiversity, climate change, and adaptation: nature-based solutions from the World Bank portfolio**. Washington, DC: The International Bank for Reconstruction and Development, 2008. v. 1

MARYLAND GREENWAYS COMISSION. **Maryland Greenways Atlas**. Annapolis: [*s. n.*], 1992.

MCHARG, Ian L. **Design with nature**. New York: John Wiley & Sons, 1992.

MCHARG, Ian L. Ecological Determinism. *In*: STEINER, Frederick (org.). **The essential Ian McHarg: writings on design and nature**. (2006). Washington, DC: Island Press, 1966. p. Não Paginado.

MCHARG, Ian L. Human Ecological Planning at Pennsylvania. *In*: STEINER, Frederick R. (org.). **The essential Ian McHarg: writings on design and nature**. (2006). Washington, DC: Island Press, 1981. p. Não Paginado.

MCHARG, Ian L. Natural Factors In Planning. *In*: STEINER, Frederick R. (org.). **The essential Ian McHarg: writings on design and nature**. (2006). Washington, DC: Island Press, 1997. p. Não Paginado.

MCHARG, Ian L. Values, Process and Form. *In*: STEINER, Frederick R. (2006) (org.). **The essential Ian McHarg: writings on design and nature**. Washington, DC: Island Press, 1968. p. Não Paginado.

MCMAHON, Edward. Green Infrastructure. **Planning Commissioners Journal**, [*s. l.*], n. 37, p. 1–7, 2000. Disponível em: https://plannersweb.com/wp-content/uploads/2000/01/372.pdf. Acesso em: 23 jul. 2024.

MCPHEARSON, Timon; KABISCH, Nadja; FRANTZESKAKI, Niki. Nature-based solutions for sustainable, resilient, and equitable cities. *In*: MCPHEARSON, Timon; KABISCH, Nadja; FRANTZESKAKI, Niki (org.). **Nature-Based Solutions for Cities**. Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2023. p. 1–13.

MELL, Ian Caleb. After All, What Is GI?. *In*: SANT'ANNA, Camila Gomes; MELL, Ian Caleb; SCHENK, Luciana Bongiovanni Martins (org.). **Planning with Landscape: Green Infrastructure to Build Climate-Adapted Cities**. [*S. l.*]: Springer, 2023. p. 1–14.

MELL, Ian Caleb. Can green infrastructure promote urban sustainability?. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability**, [*s. l.*], v. 162, n. 1, p. 23–34, 2009. Disponível em: https://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/ensu.2009.162.1.23. Acesso em: 9 maio 2024.

MELL, Ian Caleb. Green infrastructure: concepts and planning. **FORUM ejournal**, [*s. l.*], v. 8, n. 1, p. 69–80, 2008. Disponível em: Acesso em: 24 jul. 2024.

MELL, Ian Caleb. **Green infrastructure: concepts, perceptions and its use in spatial planning**. 2010. Tese (Doutorado) - Newcastle University, Newcastle, 2010.

MELL, Ian Caleb. **Green Infrastructure Planning**. London: Lund Humphries, 2019.

MENEGUETTI, Karin Schwabe. **De cidade-jardim a cidade sustentável: potencialidades para uma estrutura ecológica urbana em Maringá - PR**. 2007. Tese Doutorado - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

METZGER, Jean Paul. O que é ecologia de paisagens?. **Biota Neotropica**, [*s. l.*], v. 1, n. 1–2, p. 1–9, 2001. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1676-06032001000100006&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 15 maio 2024.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment**. [*S. l.: s. n.*], 2005. Disponível em: https://www.millenniumassessment.org/en/Framework.html. Acesso em: 30 jul. 2024.

MONTEIRO, Renato; FERREIRA, José; ANTUNES, Paula. Green Infrastructure Planning Principles: An Integrated Literature Review. **Land**, [*s. l.*], v. 9, n. 12, p. 525, 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-445X/9/12/525. Acesso em: 16 jan. 2024.

NESSHÖVER, Carsten *et al.* The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective. **Science of The Total Environment**, [*s. l.*], v. 579, p. 1215–1227, 2017. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969716325578. Acesso em: 18 abr. 2024.

NGUYEN, Thuy Thi; BACH, Peter M.; PAHLOW, Markus. Multi-scale stormwater harvesting to enhance urban resilience to climate change impacts and natural disasters. **Blue-Green Systems**, [*s. l.*], v. 4, n. 1, p. 58–74, 2022. Disponível em: https://iwaponline.com/bgs/article/4/1/58/89139/Multi-scale-stormwater-harvesting-to-enhance-urban. Acesso em: 14 mar. 2024.

NOVOTNY, Vladimir; AHERN, Jack; BROWN, Paul. Historic Paradigms of Urban Water/Stormwater/Wastewater Management and Drivers for Change. *In*: NOVOTNY, Vladimir; AHERN, Jack; BROWN, Paul (org.). **Water Centric Sustainable Communities**. [*S. l.*]: John Wiley & Sons, 2010a. p. 1–71.

NOVOTNY, Vladimir; AHERN, Jack; BROWN, Paul. Urban Sustainability Concepts. *In*: NOVOTNY, Vladimir; AHERN, Jack; BROWN, Paul (org.). **Water Centric Sustainable Communities**. [*S. l.*]: John Wiley & Sons, 2010b. p. 72–134.

NUCCI, João Carlos. ORIGEM E DESENVOLVIMENTO DA ECOLOGIA E DA ECOLOGIA DA PAISAGEM. **Revista Geografar**, [*s. l.*], v. 2, n. 1, p. 77–99, 2007. Disponível em: http://revistas.ufpr.br/geografar/article/view/7722. Acesso em: 17 maio 2024.

O'DONNELL, E.C.; LAMOND, J.E.; THORNE, C.R. Learning and Action Alliance framework to facilitate stakeholder collaboration and social learning in urban flood risk management. **Environmental Science & Policy**, [*s. l.*], v. 80, p. 1–8, 2018. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1462901117304355. Acesso em: 14 mar. 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. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1573062X.2017.1279190. Acesso em: 14 mar. 2024.

ODUM, Eugene P. **Fundamentos de ecologia**. 6. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2001.

OLMSTED, Frederick Law. **Walks and Talks of An American Farmer in England**. Columbus, Ohio: University of Michigan, 1859.

ONU, Organização das Nações Unidas. **World Urbanization Prospects: The 2018 Revision**. New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, 2018. Disponível em: https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf. Acesso em: 3 maio 2024.

PAGE, Matthew J. *et al.* A declaração PRISMA 2020: diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas. **Revista Panamericana de Salud Pública**, [*s. l.*], v. 46, p. 1, 2022.

PAULEIT, Stephan *et al.* Multifunctional Green Infrastructure Planning to Promote Ecological Services in the City. *In*: NIEMELÄ, Jari *et al.* (org.). **Urban Ecology: Patterns, Processes, and Applications**. [*S. l.*]: Oxford University Press, 2011. p. 272–285.

PAULEIT, Stephan *et al.* Nature-Based Solutions and Climate Change – Four Shades of Green. *In*: KABISCH, Nadja *et al.* (org.). **Nature-based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas**. [*S. l.*]: Springer Nature, 2017. p. 29–49.

PELLEGRINO, Paulo Renato Mesquita *et al.* A paisagem da borda: uma estratégia para a condução das águas, da biodiversidade e das pessoas. *In*: COSTA, Lucia Maria Sá Antunes (org.). **Rios e paisagens urbanos em cidades brasileiras**. Rio de Janeiro: Viana & Mosley/PROURB, 2006. p. 57–76.

PELLEGRINO, Paulo Renato Mesquita; AHERN, Jack. An Evolving Paradigm of Green Infrastructure: Guided by Water. *In*: GOMES SANT'ANNA, Camila; MELL, Ian; SCHENK, Luciana Bongiovanni Martins (org.). **Planning with Landscape: Green Infrastructure to Build Climate-Adapted Cities**. Cham: Springer International Publishing, 2023. p. 51–69. Disponível em: https://link.springer.com/10.1007/978-3-031-18332-4_4. Acesso em: 20 jan. 2024.

PERINI, Katia; SABBION, Paola. **Urban Sustainability and River Restoration**. [*S. l.*]: Wiley, 2017. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119245025. Acesso em: 12 jun. 2024.

PERLOFF, Harvey S. Key Features of Regional Planning. *In*: BURNS, Leland S.; FRIEDMANN, John (org.). **The art of planning**. New York: Plenum Press, 1985. p. 205–220.

PERRELET, Kilian *et al*. Engineering blue-green infrastructure for and with biodiversity in cities. **npj Urban Sustainability**, [*s. l.*], v. 4, n. 1, p. 27, 2024. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s42949-024-00163-y. Acesso em: 28 jan. 2025.

PITCHARD, Alan. Statistical bibliography or bibliometrics. **Journal of Documentation**, [*s. l.*], v. 25, n. 4, p. 348–349, 1969.

POCHODYŁA, Ewelina; GLIŃSKA-LEWCZUK, Katarzyna; JASZCZAK, Agnieszka. Blue-green infrastructure as a new trend and an effective tool for water management in urban areas. **Landscape Online**, [*s. l.*], v. 92, p. 1–20, 2021. Disponível em: https://landscape-online.org/index.php/lo/article/view/LO.202192. Acesso em: 14 mar. 2024.

POKRÝVKOVÁ, Jozefína *et al*. The Urban Environment Impact of Climate Change Study and Proposal of the City Micro-Environment Improvement. **Sustainability**, [*s. l.*], v. 13, n. 8, p. 4096, 2021. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/13/8/4096. Acesso em: 14 mar. 2024.

PUCHOL-SALORT, Pepe *et al*. Water neutrality framework for systemic design of new urban developments. **Water Research**, [*s. l.*], v. 219, p. 118583, 2022. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S004313542200536X. Acesso em: 14 mar. 2024.

RAGONHA, Jéssica. **Planejar com a paisagem: reflexões historiográficas e contemporâneas sobre a região**. 2019. Mestrado - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

RAGONHA, Jéssica; SCHENK, Luciana Bongiovanni Martins. Planejar com a Paisagem. **Oculum Ensaios**, [*s. l.*], v. 19, p. 1–16, 2022. Disponível em: https://seer.sis.puc-campinas.edu.br/oculum/article/view/4971. Acesso em: 11 fev. 2024.

RIBEIRA, Aviter Bordinhon; MENEGUETTI, Karin Schwabe. A Teoria Geral dos Sistemas como suporte ao planejamento ecológico da paisagem. **Brazilian Journal of Development**, [*s. l.*], v. 7, n. 11, p. 105083–105096, 2021. Disponível em: https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/39563. Acesso em: 3 maio 2024.

RISSER, Paul G.; KARR, James R.; FORMAN, Richard T. T. **Landscape ecology: directions and approaches**. Champaign, Illinois: Illinois Natural History Survey, 1984.

RODGERS, Richard. **Cidades para um pequeno planeta**. São Paulo: Gustavo Gili, 2001.

RUSCHE, Karsten; REIMER, Mario; STICHMANN, Rico. Mapping and Assessing Green Infrastructure Connectivity in European City Regions. **Sustainability**, [*s. l.*], v. 11, n. 6, p. 1819, 2019. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/11/6/1819. Acesso em: 3 mar. 2024.

RYDER, Barbara A. Greenway planning and growth management: partners in conservation?. **Landscape and Urban Planning**, [*s. l.*], v. 33, n. 1, p. 417–432, 1995. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/016920469402032B. Acesso em: 3 abr. 2024.

SANDRE, Adriana Afonso. **Landscape Information Modeling: um conceito para projetos de paisagens multifuncionais**. 2022. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

SANDRE, Adriana Afonso; PELLEGRINO, Paulo Renato Mesquita. Modelagem da Informação da Paisagem. **Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, [*s. l.*], v. 27, n. 51, p. e168291, 2021. Disponível em: https://www.revistas.usp.br/posfau/article/view/168291. Acesso em: 17 jul. 2024.

SANDSTRÖM, Ulf G. Green Infrastructure Planning in Urban Sweden. **Planning Practice and Research**, [*s. l.*], v. 17, n. 4, p. 373–385, 2002. Disponível em: http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02697450216356. Acesso em: 17 maio 2024.

SANT'ANNA, Camila Gomes. A cidade é infraestrutura, é paisagem, é verde. *In*: ENOKIBARA, Marta; BENINI, Sandra Medina; PASQUOTTO, Geise Brizotti (org.). **Paisagem: Pesquisa histórica e aplicada no Brasil e América Latina**. Tupã, SP: ANAP, 2022. p. 217–232.

SANT'ANNA, Camila Gomes. **A infraestrutura verde e sua contribuição para o desenho da paisagem da cidade**. 2020. Tese Doutorado - Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

SANTOS, Milton. **A Urbanização Brasileira**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

SANTOS, Maria Fernanda Nóbrega dos; ENOKIBARA, Marta. Infraestrutura verde: conceitos, tipologias e terminologia no Brasil. **Paisagem e Ambiente**, [*s. l.*], v. 32, n. 47, p. e174804, 2021. Disponível em: https://www.revistas.usp.br/paam/article/view/174804. Acesso em: 29 fev. 2024.

SCHENK, Luciana Bongiovanni Martins. Frederick Law Olmsted e a instituição da profissão Arquiteto da Paisagem. *In*: ENOKIBARA, Marta; CONSTANTINO, Norma Regina Truppel (org.). **Jardins na história**. Tupã, SP: ANAP, 2022a. v. 1, p. 127–152.

SCHENK, Luciana Bongiovanni Martins. Infraestrutura Verde, Soluções Baseadas na Natureza e Paisagem: História e estratégias na construção de cidades contemporâneas. *In*: ENOKIBARA, Marta; BENINI, Sandra Medina; PASQUOTTO, Geise Brizotti (org.). **Paisagem: Pesquisa histórica e aplicada no Brasil e América Latina**. 1. ed. Tupã: ANAP, 2022b. p. 189–216.

SEARNS, Robert M. The evolution of greenways as an adaptive urban landscape form. **Landscape and Urban Planning**, [*s. l.*], v. 33, n. 1–3, p. 65–80, 1995. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0169204694020147. Acesso em: 30 abr. 2024.

SEHRAWAT, Simran; SHEKHAR, Sulochana. Potential sites for blue-green infrastructure in Gurugram, India; a multicriteria analysis. **GeoJournal**, [*s. l.*], v. 89, n. 1, p. 36, 2024. Disponível em: https://link.springer.com/10.1007/s10708-024-11021-w. Acesso em: 14 mar. 2024.

SELANON, Pattamon. Environmentalism, Environmental Ethics, and Some Linkages with Landscape Architecture. **Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS)**, [*s. l.*], v. 9, n. 2, p. 39–48, 2019. Disponível em: https://so02.tci-thaijo.org/index.php/jars/article/view/168552. Acesso em: 3 jun. 2024.

SILVEIRA, Danyella. **Biovaletas como alternativa sustentável para o escoamento de águas pluviais**. [*S. l.*], 2024. Disponível em: https://inq.conquista.ifba.edu.br/v1/biovaletas-como-alternativa-sustentavel-para-o-escoamento-de-aguas-pluviais/. Acesso em: 20 ago. 2024.

SIMPERLER, Lena *et al*. Identification and Pre-Assessment of Former Watercourses to Support Urban Stormwater Management. **Sustainability**, [*s. l.*], v. 12, n. 14, p. 5660, 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/14/5660. Acesso em: 14 mar. 2024.

SMITH, Daniel S.; HELLMUND, Paul Cawood. **Ecology of greenways: design and function of linear conservation areas**. Minneapolis, MN: University of Minnesota Press, 1993.

SÖRENSEN, J.; PERSSON, A.S.; OLSSON, J. Alkan. A data management framework for strategic urban planning using blue-green infrastructure. **Journal of Environmental Management**, [*s. l.*], v. 299, p. 113658, 2021. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479721017205. Acesso em: 14 mar. 2024.

SOULÉ, Michael E. What Is Conservation Biology?. **BioScience**, [*s. l.*], v. 35, n. 11, p. 727–734, 1985. Disponível em: https://academic.oup.com/bioscience/article-lookup/doi/10.2307/1310054. Acesso em: 3 maio 2024.

SPIRN, Anne Whiston. Ian McHarg, Landscape Architecture, and Environmentalism: Ideas and Methods in Context. *In*: CONAN, Michel (org.). **Environmentalism in Landscape Architecture**. Washington, DC: Dumbarton Oaks, 2000. p. 97–114.

SPIRN, Anne Whiston. **The Granite Garden: Urban Nature and Human Design**. Nova York: Basic Books, 1984.

SPIRN, Anne Whiston. **The language of landscape**. New Haven, CT: Yale University Press, 1998.

STEINER, Frederick R. Preface. *In*: STEINER, Frederick R. (org.). **The essential Ian McHarg: writings on design and nature (2006)**. Washington, DC: Island Press, 2006. p. Não Paginado.

STEINER, Frederick. Regional planning in the United States: Historic and contemporary examples. **Landscape Planning**, [*s. l.*], v. 10, n. 4, p. 297–315, 1983. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0304392483900382. Acesso em: 8 jun. 2024.

TARDIN, Raquel. **Espaços livres: sistema e projeto territorial**. Rio de Janeiro: 7Letras, 2008.

TEICHMANN, Marek *et al.* A Tool for Identifying Suitable Places for the Placement of Blue-Green Infrastructure Elements, a Case Study on the Cities of the Moravian-Silesian Region, Czech Republic. **Water**, [*s. l.*], v. 16, n. 3, p. 424, 2024. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4441/16/3/424. Acesso em: 14 mar. 2024.

THE CULTURAL LANDSCAPE FOUNDATION. **Wallace McHarg Roberts & Todd**. [*S. l.*], [*s. d.*]. Disponível em: https://www.tclf.org/pioneer/wallace-mcharg-roberts-todd. Acesso em: 16 jul. 2024.

THOREAU, Henry David. Chapter VII. *In*: TORREY, Bradford (org.). **The writings of Henry David Thoreau: Journal XII**. Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 1859. Disponível em: https://www.walden.org/work/journal-xii-march-2-1859-november-30-1859/. Acesso em: 12 jul. 2024.

THORNE, C.R. *et al.* Overcoming uncertainty and barriers to adoption of Blue-Green Infrastructure for urban flood risk management. **Journal of Flood Risk Management**, [*s. l.*], v. 11, n. S2, p. S960–S972, 2018. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfr3.12218. Acesso em: 14 mar. 2024.

TROLL, Carl. Landscape ecology (geoecology) and biogeocenology — A terminological study. **Geoforum**, [*s. l.*], v. 2, n. 4, p. 43–46, 1971. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0016718571900297. Acesso em: 3 maio 2024.

TURNER, Monica Goigel. Landscape Ecology: The Effect of Pattern on Process. **Annual Review of Ecology and Systematics**, [*s. l.*], v. 20, n. 1, p. 171–197, 1989. Disponível em: https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.es.20.110189.001131. Acesso em: 3 maio 2024.

TURNER, Monica G.; GARDNER, Robert H.; O'NEILL, Robert V. **Landscape ecology in theory and practice: pattern and process**. New York: Springer-Verlag, 2001.

URBAN, Dean L.; O'NEILL, Robert V.; SHUGART, Herman H. Landscape Ecology. **BioScience**, [*s. l.*], v. 37, n. 2, p. 119–127, 1987. Disponível em: https://academic.oup.com/bioscience/article-lookup/doi/10.2307/1310366. Acesso em: 30 abr. 2024.

VALENTE DE MACEDO, Laura *et al.* **Inovar em Infraestrutura Urbana Verde e Azul para Melhorar o Nexo Alimento, Água, Energia: Um Guia de Implementação para Cidades e Governos Subnacionais**. São PAulo: FGV EAESP CEISA e ICLEI, 2022.

VASCONCELLOS, Andréa Araujo de. **Infraestrutura Verde Aplicada ao Planejamento da Ocupação Urbana**. Curitiba: Appris, 2015.

VERCRUYSSE, Kim *et al.* Developing spatial prioritization criteria for integrated urban flood management based on a source-to-impact flood analysis. **Journal of Hydrology**, [*s. l.*], v. 578, p. 124038, 2019. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169419307656. Acesso em: 14 mar. 2024.

VERSINI, P.-A. *et al.* A distributed modelling approach to assess the use of Blue and Green Infrastructures to fulfil stormwater management requirements. **Landscape and Urban Planning**, [*s. l.*], v. 173, p. 60–63, 2018. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169204618300422. Acesso em: 14 mar. 2024.

VÖLKER, Sebastian *et al.* Evidence for the temperature-mitigating capacity of urban blue space – a health geographic perspective. **Erdkunde**, [*s. l.*], v. 67, n. 04, p. 355–371, 2013. Disponível em: https://www.erdkunde.uni-bonn.de/article/view/2737. Acesso em: 3 ago. 2024.

WALMSLEY, Anthony. Greenways and the making of urban form. **Landscape and Urban Planning**, [*s. l.*], v. 33, n. 1, p. 81–127, 1995. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/016920469502015L. Acesso em: 3 abr. 2024.

WANG, Yafei *et al.* Effect of ecosystem services provided by urban green infrastructure on indoor environment: A literature review. **Building and Environment**, [*s. l.*], v. 77, p. 88–100, 2014. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S036013231400081X. Acesso em: 21 ago. 2024.

WANG, Jingxia; BANZHAF, Ellen. Towards a better understanding of Green Infrastructure: A critical review. **Ecological Indicators**, [*s. l.*], v. 85, p. 758–772, 2018. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1470160X17305861. Acesso em: 20 ago. 2024.

WEBER, Theodore; WOLF, John. Maryland's Green Infrastructure—Using Landscape Assessment Tools to Identify a Regional Conservation Strategy. **Environmental Monitoring and Assessment**, [*s. l.*], v. 63, n. 1, p. 265–277, 2000. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1023/A:1006416523955. Acesso em: 23 jul. 2024.

WIENS, John A. *et al.* Ecological Mechanisms and Landscape Ecology. **Oikos**, [*s. l.*], v. 66, n. 3, p. 369, 1993. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/3544931?origin=crossref. Acesso em: 22 maio 2024.

WONG, T. H. F *et al.* A Model for Urban Stormwater Improvement Conceptualisation. *In*: , 2002, Lugano, Suíça. **International Congress on Environmental Modelling and Software** . Lugano, Suíça: ScholarsArchive BYU ScholarsArchive , 2002. p. 47–53. Disponível em: https://scholarsarchive.byu.edu/iemssconference/2002/all/122/. Acesso em: 24 fev. 2025.

WOUDSTRA, Jan. The changing nature of ecology: a history of ecological planting (1800–1980). *In*: DUNNETT, Nigel; HITCHMOUGH, James (org.). **The dynamic landscape: naturalistic planting in an urban context**. Londres: Spon Press, 2004. p. 33–80.

WRIGHT, Kenneth R. **Tipon: water engineering masterpiece of the Inca empire**. Reston, Virginia, USA: American Society of Civil Engineers, 2006.

WRIGHT, Hannah. Understanding green infrastructure: the development of a contested concept in England. **Local Environment**, [*s. l.*], v. 16, n. 10, p. 1003–1019, 2011. Disponível em: http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13549839.2011.631993. Acesso em: 3 dez. 2023.

WU, Caiyan *et al.* Understanding the relationship between urban blue infrastructure and land surface temperature. **Science of The Total Environment**, [*s. l.*], v. 694, p. 133742, 2019. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969719336800. Acesso em: 18 jul. 2024.

WU, Jianguo; HOBBS, Richard. Key issues and research priorities in landscape ecology: An idiosyncratic synthesis. **Landscape Ecology**, [*s. l.*], v. 17, n. 4, p. 355–365, 2002.

YANG, Bo; LI, Shujuan. Design with Nature: Ian McHarg's ecological wisdom as actionable and practical knowledge. **Landscape and Urban Planning**, [*s. l.*], v. 155, p. 21–32, 2016. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169204616300482. Acesso em: 17 abr. 2024.

YING, Jun *et al.* Green infrastructure: systematic literature review. **Economic Research-Ekonomska Istraživanja**, [*s. l.*], v. 35, n. 1, p. 343–366, 2022. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1331677X.2021.1893202. Acesso em: 15 dez. 2023.

ZHANG, Kefeng *et al.* Modelling a 'business case' for blue-green infrastructure: lessons from the Water Sensitive Cities Toolkit. **Blue-Green Systems**, [*s. l.*], v. 2, n. 1, p. 383–403, 2020. Disponível em: https://iwaponline.com/bgs/article/2/1/383/78663/Modelling-a-business-case-for-blue-green. Acesso em: 14 mar. 2024.

ZHOU, Conghui; WU, Yun. A Planning Support Tool for Layout Integral Optimization of Urban Blue–Green Infrastructure. **Sustainability**, [*s. l.*], v. 12, n. 4, p. 1613, 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/4/1613. Acesso em: 14 mar. 2024.

APÊNDICE A – RELAÇÃO DOS ARTIGOS INCLUÍDOS NA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Referência	Título	DOI
Ahmed; Meenar; Alam (2019)	Designing a Blue-Green Infrastructure (BGI) Network: Toward Water-Sensitive Urban Growth Planning in Dhaka, Bangladesh	https://doi.org/10.3390/land8090138
Alves et al. (2014)	Planning the multifunctionality of nature-based solutions in urban spaces	https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104751
Axelsson et al. (2021)	Urban Pluvial Flood Management Part 2: Global Perceptions and Priorities in Urban Stormwater Adaptation Management and Policy Alternatives	https://doi.org/10.3390/w13172433
Axelsson; Giove; Soriani (2021)	Urban Pluvial Flood Management Part 1: Implementing an AHP-TOPSIS Multi-Criteria Decision Analysis Method for Stakeholder Integration in Urban Climate and Stormwater Adaptation	https://doi.org/10.3390/w13172422
Battemarco et al. (2022)	Water dynamics and blue-green infrastructure (BGI): Towards risk management and strategic spatial planning guidelines	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129993
Bocheńska-Skałecka; Walter (2020)	Application of the Integrated Design Process (IDP) Method to the Design of Riverside on the Example of Żmigród (Poland)	https://doi.org/10.3390/su12166684
Casiano Flores; Vikolainen; Crompvoets (2021)	Governance assessment of a blue-green infrastructure project in a small size city in Belgium. The potential of Herentals for a leapfrog to water sensitive	https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103331
Dawson; Vercruysse; Wright (2020)	A spatial framework to explore needs and opportunities for interoperable urban flood management	http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2019.0205
Deely et al. (2020)	Barrier identification framework for the implementation of blue and green infrastructures	https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105108
Drosou et al. (2019)	Key Factors Influencing Wider Adoption of Blue–Green Infrastructure in Developing Cities	https://doi.org/10.3390/w11061234
Gomes et al. (2021)	The use of blue-green infrastructure as a multifunctional approach to watersheds with socio-environmental vulnerability	https://doi.org/10.2166/bgs.2021.119
Kaur; Gupta (2022)	Blue-Green Infrastructure (BGI) network in urban areas for sustainable storm water management: A geospatial approach	https://doi.org/10.1016/j.cacint.2022.100087

Cont.

Cont. Apêndice A

Kuller et al. (2022)	Planning support systems for strategic implementation of nature-based solutions in the global south: Current role and future potential in Indonesia	https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.103693
Kuller; Reid; Prodanovic (2021)	Are we planning blue-green infrastructure opportunistically or strategically? Insights from Sydney, Australia	https://doi.org/10.2166/bgs.2021.023
Lamond; Everett (2019)	Sustainable Blue-Green Infrastructure: A social practice approach to understanding community preferences and stewardship	https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103639
Lee (2021)	Collaborative spatial planning for blue-green infrastructure using the spatial q methodology: case study of Siheung Hojobul Wetland, Korea	https://doi.org/10.1007/s11355-021-00468-5
Nguyen; Bach; Pahlow (2022)	Multi-scale stormwater harvesting to enhance urban resilience to climate change impacts and natural disasters	https://doi.org/10.2166/bgs.2022.008
O'Donnell; Lamond; Thorne (2017)	Recognising barriers to implementation of Blue-Green Infrastructure: a Newcastle case study	https://doi.org/10.1080/1573062X.2017.1279190
O'Donnell; Lamond; Thorne (2018)	Learning and Action Alliance framework to facilitate stakeholder collaboration and social learning in urban flood risk management	https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.013
Pokrývková et al. (2021)	The Urban Environment Impact of Climate Change Study and Proposal of the City Micro-Environment Improvement	https://doi.org/10.3390/su13084096
Puchol-Salort et al. (2022)	Water neutrality framework for systemic design of new urban developments	https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118583
Sehrawat; Shekhar (2024)	Potential sites for blue-green infrastructure in Gurugram, India; a multicriteria analysis	https://doi.org/10.1007/s10708-024-11021-w
Simperler et al. (2020)	Identification and Pre-Assessment of Former Watercourses to Support Urban Stormwater Management	https://doi.org/10.3390/su12145660
Sörensen; Persson; Olsson (2021)	A data management framework for strategic urban planning using blue-green infrastructure	https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113658
Teichmann et al. (2024)	A Tool for Identifying Suitable Places for the Placement of Blue-Green Infrastructure Elements, a Case Study on the Cities of the Moravian-Silesian Region, Czech Republic	https://doi.org/10.3390/w16030424

Cont.

Cont. Apêndice A

Thorne et al. (2018)	Overcoming uncertainty and barriers to adoption of Blue-Green Infrastructure for urban flood risk management	https://doi.org/10.1111/jfr3.12218
Vercruysse et al. (2019)	Developing spatial prioritization criteria for integrated urban flood management based on a source-to-impact flood analysis	https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124038
Versini et al. (2018)	A distributed modelling approach to assess the use of Blue and Green Infrastructures to fulfil stormwater management requirements	https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.02.001
Zhang et al. (2020)	Modelling a 'business case' for blue-green infrastructure: lessons from the Water Sensitive Cities Toolkit	https://doi.org/10.2166/bgs.2020.018
Zhou; Wu (2020)	A Planning Support Tool for Layout Integral Optimization of Urban Blue–Green Infrastructure	https://doi.org/10.3390/su12041613