



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E
REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS - PROFÁGUA

MONA GRIMOUTH BITTAR

INSERÇÃO DE INFRAESTRUTURAS VERDES EM ÁREA COSTEIRA
DENSAMENTE URBANIZADA: CASO DA PRAIA DA PIPA - RN

Recife - PE, 2024.

MONA GRIMOUTH BITTAR

**INSERÇÃO DE INFRAESTRUTURAS VERDES EM ÁREA COSTEIRA
DENSAMENTE URBANIZADA: CASO DA PRAIA DA PIPA - RN**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos na UFPE.

Prof^a. Dr^a. Sylvana Melo dos Santos
Orientadora

Prof. Dr. Diego Cezar dos Santos Araújo
Coorientador

Catálogo de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Bittar, Mona Grimouth.

Inserção de Infraestruturas Verdes em Área Costeira Densamente Urbanizada:
Caso da Praia da Pipa - RN / Mona Grimouth Bittar. - Recife, 2024.
97f.: il.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, Centro de Tecnologia e
Geociências, Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de
Recursos Hídricos - ProfÁgua.

1. Infraestruturas verdes; 2. Expansão Urbana; 3. Geoprocessamento; 4. Plano
Diretor; 5. Desenvolvimento Urbano Sustentável. I. Título

UFPE-

Recife - PE, 2024.

**INSERÇÃO DE INFRAESTRUTURAS VERDES EM ÁREA COSTEIRA
DENSAMENTE URBANIZADA: CASO DA PRAIA DA PIPA - RN**

Dissertação submetida ao corpo docente do Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA como parte integrante dos requisitos necessários como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre.

Data da aprovação: ____/____/

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Sylvana Melo dos Santos
Orientador – Presidente da banca

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof^a. Dr^a. Suzana Maria Gico Lima Montenegro.
Examinadora interna
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof^a. Dr^a. Janaína Maria Oliveira de Assis
Examinadora externa
Universidade Federal da Bahia - UFBA

APRESENTAÇÃO DA AUTORA

Este trabalho foi elaborado para ser apresentado à banca Examinadora da Dissertação, como exigência para futura obtenção de título de Mestre do Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

A autora possui graduação no curso de Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Goiás. De 2018 a 2023 trabalhou com Gestão de Recursos Hídricos na Secretaria de Meio Ambiente do Distrito Federal – SEMA/DF, foi membra do Comitê de Bacias Hidrográficas dos Afluentes do Rio Paranaíba - CBH Paranaíba e do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Distrito Federal – CRH/DF, integrando grupos de trabalho e câmaras técnicas desses colegiados. A partir dessas experiências teve a oportunidade de apoiar tecnicamente o comitê de Bacia dos Afluentes do Rio Paraíba do DF e participou efetivamente a construção do plano da respectiva bacia. Participou de grupos de trabalho sobre resoluções referentes ao enquadramento de recursos hídricos; à cobrança pelo uso da água; ao reuso de água na agricultura; entre outros. Como membra da Câmara Técnica do CRH/DF apoiou em diversas temáticas relacionadas à gestão hídrica, tais como: representação da SEMA/DF; coordenação do grupo de trabalho sobre implementação do Sistema de Informações de Recursos Hídricos no DF; e elaboração do Plano de Capacitação do Progestão. Durante a atuação na SEMA/DF participou do Projeto CITinova - Cidades Sustentáveis que tinha como objetivo implementar iniciativas de sustentabilidade inovadoras, em que foi ponto focal de ações no âmbito de recursos hídricos, em especial nas iniciativas de boas práticas agrícolas e recomposição vegetal de áreas de nascentes. Após essa experiência, trabalhou na empresa Sustenta Cidades Inteligente, na qual foi coordenadora de meio ambiente e saneamento, atuando na gestão de projetos hidrossanitários e de processos de licenciamento ambiental.

Dedico

À natureza que guia meus caminhos e me inspira.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

À minha orientadora, Prof^a Dr^a Sylvana Melo dos Santos, pela orientação, apoio, confiança e aprendizados.

Ao meu coorientador, Prof Dr Diego Araújo, pela disposição e apoio.

Aos meus professores do ProfÁgua pelos conhecimentos compartilhados e aulas ministradas.

À minha irmã, que sempre me apoia incondicionalmente na realização dos meus sonhos, por me fazer enxergar além e confiar nos mistérios da vida.

À minha sócia e irmã de alma, Barbara Luiza, que me motivou e me acolheu durante todo o percurso neste mestrado, por atravessar a vida comigo desde o colégio, fazendo o presente ser mais gentil e compartilhando comigo sonhos futuros.

A minha avó e ao meu avô pelo amor incondicional e por me proporcionarem um lar com afeto onde tive a possibilidade de me dedicar integralmente aos meus estudos e sonhos.

À minha tia Mona Bittar, professora da UFG, mulher brilhante, a quem meu nome faz uma homenagem, por me inspirar na busca por conhecimento e por revoluções, e que sempre incentivou e apoiou minha jornada neste mestrado.

Às minhas amigas, que vibram com minhas conquistas, por me preencherem de afeto, estando sempre disponíveis para me escutar e me apoiar na realização dos meus desejos... sem as mulheres que me cercam, a vida não seria tão brilhante.

Aos meus colegas de curso, em especial Andressa e Priscila, pela amizade, apoio, troca constante de ideias e pelos *insights* que cada um trouxe durante o curso.

Aos amigos moradores da praia da Pipa por compartilharem comigo informações relevantes para esta pesquisa.

À Sustenta Cidades Inteligentes e à Secretaria do Meio Ambiente do DF pela compreensão e flexibilidade, que foram fundamentais para conciliar minhas responsabilidades profissionais com os compromissos acadêmicos.

Aos meus guias espirituais, que me protegem a todo tempo, por me conectarem com o Divino e me guiarem para os bons caminhos.

E por fim, à Praia da Pipa, meu lar, o lugar que escolhi para criar raízes.

BITTAR, G. M. Inserção de Infraestruturas Verdes em Área Costeira Densamente Urbanizada: Caso da Praia da Pipa - RN. Tibau do Sul, Rio Grande do Norte, Brasil. 2024. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos). Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Recife-PE, 2024.

RESUMO

Esta pesquisa apresenta proposta de inserção de infraestruturas verdes aplicável no Distrito da Praia da Pipa – RN, pertencente ao município de Tibau do Sul, para contribuição na mitigação e adaptação dos efeitos da expansão urbana na área de estudo, embasada em referências bibliográficas e diagnóstico espacial da região. O geoprocessamento mostrou-se uma ferramenta eficaz no processo decisório de implementação de infraestruturas verdes, permitindo a visualização de dados críticos e facilitando a concepção de cenário a partir da análise de mapas de declividade e de Normalized Difference Vegetation Index – NDVI. Para a elaboração do mapa de NDVI foi utilizada a plataforma Sentinel Playground, que facilita o acesso às imagens fornecidas pela Agência Espacial Europeia (ESA). O NDVI, disponível nessa plataforma, é gerado a partir do sensor MultiSpectral Instrument (MSI) presente nos satélites Sentinel-2A e Sentinel-2B, com resolução espacial de 20 m. Para o mapa de declividade, utilizou-se dados vetoriais e raster do IBGE e do Topodata. O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi utilizado para determinar as classes de declividade, baseando-se nos dados da missão Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) com resolução espacial de 30 m. A metodologia utilizada para a seleção da tipologia de infraestruturas verdes foi a do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2020), aplicada para identificar a tipologia mais adequada a trecho selecionado após diagnóstico da área de estudo, situado na via Gameleira, na Praia da Pipa, onde ocorrem frequentes alagamentos. A metodologia embasou a discussão do estudo de caso, e a partir da matriz que correlaciona serviços ambientais e as tipologias de infraestruturas verdes, foram selecionadas e detalhadas as tipologias de maior potencial. Também foram definidos critérios e evidenciados as limitações de implementação. Por fim apresentou-se a aplicação de jardins de chuva como a solução mais adequada para a realidade local. Este estudo também analisou o Plano Diretor do município de Tibau do Sul, a fim de investigar lacunas relacionadas às aplicações de infraestruturas verdes, buscando dispositivos em legislações de cidades brasileiras que possam ser incluídos na sua atualização. A partir desta pesquisa foi possível observar que as infraestruturas verdes mesmo ainda não sendo políticas estabelecidas no Brasil, são soluções que podem auxiliar os municípios alcançarem metas estabelecidas pela Agenda 2030, promovendo o desenvolvimento urbano sustentável, segurança hídrica e adaptação climática.

Palavras – Chave: Infraestruturas verdes; Expansão Urbana; Geoprocessamento; Plano Diretor; Desenvolvimento Urbano Sustentável.

Bittar, G. M. Green Infrastructure Insertion in Densely Urbanized Coastal Area: The Case of Pipa Beach - RN. Tibau do Sul, Rio Grande do Norte, Brazil. 2024. Dissertation (Master's in Water Resources Management and Regulation). Federal University of Pernambuco - UFPE, Recife-PE, 2024.

ABSTRACT

This research presents a proposal for the implementation of green infrastructure in the District of Praia da Pipa – RN, part of the municipality of Tibau do Sul, to contribute to mitigating and adapting to the effects of urban expansion in the study area. The proposal is based on bibliographic references and a spatial diagnosis of the region. Geoprocessing proved to be an effective tool in the decision-making process for the implementation of green infrastructure, allowing the visualization of critical data and facilitating the creation of scenarios through the analysis of slope and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) maps. For the creation of the NDVI map, the Sentinel Playground platform was used, which facilitates access to images provided by the European Space Agency (ESA). The NDVI available on this platform is generated from the MultiSpectral Instrument (MSI) sensor present on the Sentinel-2A and Sentinel-2B satellites, with a spatial resolution of 20 meters. For the slope map, vector and raster data from IBGE and Topodata were used. The Digital Elevation Model (DEM) was utilized to determine the slope classes, based on data from the Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) with a spatial resolution of 30 meters. The methodology used for selecting the type of green infrastructure was developed by the Institute for Technological Research (IPT, 2020). This methodology was applied to identify the most suitable type for a selected section of the study area, located on Gameleira Street in Praia da Pipa, where frequent flooding occurs. The methodology underpinned the case study discussion, and from the matrix that correlates environmental services with green infrastructure types, the most promising types were selected and detailed. Criteria were defined, and the limitations of implementation were highlighted. Finally, the application of rain gardens was presented as the most suitable solution for the local context. This study also analyzed the Master Plan of the municipality of Tibau do Sul to investigate gaps related to the application of green infrastructure, seeking devices in the legislation of other Brazilian cities that could be included in its update. This research showed that, although green infrastructure is not yet an established policy in Brazil, it can help municipalities achieve the goals set by the 2030 Agenda, promoting sustainable development, water security, and climate adaptation.

Keywords: *Green Infrastructure; Urban Expansion; Geoprocessing; Master Plan; Sustainable Urban Development.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Mapa com zonas urbanizadas no município de Tibau do Sul, RN	41
Figura 2 -	Vista geral das bacias filtrantes	42
Figura 3 -	Bacias filtrantes	43
Figura 4 -	Pavimento permeável em Freiburg, Alemanha	44
Figura 5 -	Córrego Cheonggyecheon após sua revitalização	45
Figura 6 -	Canteiros Pluviais em Portland, Oregon, EUA	46
Figura 7 -	Canteiros Pluviais em Portland, Oregon, EUA.F	46
Figura 8 -	Os canteiros pluviais junto ao New Seasons Market em Portland, Oregon	47
Figura 9 -	Jardim de chuva na cidade de Belo Horizonte	48
Figura 10	Desenho técnico de jardim de chuva	49
Esquema 1 -	Etapas da metodologia	50
Figura 11 -	Localização do Distrito da Praia da Pipa	53
Figura 12 -	Unidade de Conservação da Natureza Parque Estadual Mata da Pipa e sua respectiva Zona de Amortecimento (A1 e A2)	55
Figura 13 -	Rua dos Pássaros, dia posterior à noite chuvosa	60
Figura 14 -	Rua das Pedrinhas, após forte chuva	60
Figura 15 -	Mapa de declividade do município de Tibau do Sul	61

Figura 16 -	NDVI referente ao dia 20/05/2024 (Tibau do Sul - RN)	62
Figura 17 -	Trecho crítico à inundação na Rua das Gameleiras	64
Figura 18 -	Ponto de alagamento em período sem ocorrência de chuva	64
Figura 19 -	Trecho objeto de estudo, Rua das Gameleiras, data: 11/04/2024	65
Figura 20 -	Trecho objeto de estudo, Rua das Gameleiras, data: 11/04/2024	66
Figura 21 -	Trecho objeto de estudo, Rua das Gameleiras, data:11/04/2024	66
Figura 22 -	Trecho objeto de estudo, Rua das Gameleiras, data: 11/04/2024	67
Figura 23 -	Distrito da Praia Pipa no ano de 2013 e no ano de 2023	84

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 -	Classes de declividade segundo a EMBRAPA	51
Tabela 2 -	Matriz de correlação entre infraestruturas verdes e serviços ambientais.	56
Tabela 3 -	Áreas em Km ² por classe.	62
Quadro 4 -	Recorte da matriz de correlação - infraestruturas verdes e serviços ambientais.	68
Quadro 5 -	Detalhamento das infraestruturas verdes selecionadas.	69
Quadro 6	Fatores ambientais, sociais, econômicos e de governança relacionados às tipologias de infraestruturas verdes citadas no Quadro 4.	73
Quadro 7	Limitações e desafios que impossibilitam a implementação no local de estudo.	76
Quadro 8	Infraestruturas verdes constantes em planos diretores de cidades brasileiras	80

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos Específicos	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	Urbanização, Saneamento e Gestão Hídrica	16
3.2	Aspectos climáticos	19
3.3	Aspectos legais e institucionais	21
3.3.1	Cenário no Estado do Rio Grande do Norte	23
3.4	Plano Diretor	24
3.4.1	Plano Diretor de Tibau do Sul	27
3.5	Infraestrutura verde	29
3.6	Planejamento urbano e a implantação de infraestruturas verdes	33
3.7	Expansão urbana na Praia da Pipa	36
3.8	Sensoriamento remoto	38
3.9	Projetos de infraestrutura verdes implantados	41
3.10	Jardim de Chuva	48
4	METODOLOGIA	50
4.1	Área de estudo	52
4.2	Seleção de tipologias de infraestruturas verdes	55
4.3	Critérios para implementação de infraestrutura verdes	58
4.4	Impacto do uso de infraestruturas verde	59
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
5.1	Diagnóstico da área	59
5.2	Matriz de infraestrutura verde	67
5.3	Aplicação de infraestrutura verde no objeto de estudo	73
5.4	Diretrizes para o Plano Diretor de Tibau do Sul	79

5.5	Desafios, Perspectivas e Impactos	84
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
	ANEXO A	90
	REFERÊNCIAS	91

1. INTRODUÇÃO

Os meios urbanos brasileiros têm se caracterizado por um desenvolvimento que deixa de integrar o meio ambiente, afetando de forma direta a oferta de água para uso e/ou consumo humano, a qualidade e a quantidade das águas superficiais e subterrâneas e o aumento de riscos de desastres ambientais. Nesse contexto, surgem desafios como a escassez e a má distribuição da água; a poluição hídrica; as enchentes e as inundações; as mudanças climáticas; as infraestruturas antigas e obsoletas; a falta de gestão integrada e os conflitos na governança; o aumento da demanda por água; o uso inconsciente da água; a resiliência a eventos extremos; entre outros (Donato, 2018).

A urbanização, processo que acompanha a modernidade, traz implicações na forma de reordenamento e organização da vida, visto as modificações estruturais que esse contexto apresenta trazem à população a necessidade de adaptações de modo a cumprir o papel de agregar a infraestrutura necessária ao desenvolvimento. Enfrentar esses desafios no que diz respeito às condições ambientais requer uma abordagem integrada que envolva a colaboração entre setores, a adoção de tecnologias inovadoras e a implementação de políticas eficazes. Ao adotar infraestruturas verdes, as cidades podem criar ambientes urbanos mais sustentáveis, resilientes e adaptáveis aos desafios associados à gestão hídrica, melhorando a qualidade de vida da população e protegendo os recursos hídricos locais, além de contribuir para a transição a uma economia de baixo carbono (Herzog e Rosa, 2010).

De acordo com Hauer *et al.* (2003 *apud* Santos, 2014), tanto a infraestrutura cinza (prédios, ruas, calçadas), quanto a verde devem estar presentes no meio urbano. A realidade mostra que existem várias ferramentas para o planejamento e a gestão da infraestrutura cinza, porém poucas no âmbito da infraestrutura verde, nas quais o investimento ainda é escasso. Apesar da crescente inovação e ampliação do conhecimento científico-tecnológico sobre o tema de infraestruturas verdes e demandas da população que necessitam desse tipo de infraestrutura, é uma prática pouco aplicada. Segundo Santos (2014), as barreiras para sua efetivação são de diferentes naturezas como culturais, políticas, técnicas, físicas, regulatórias, legais, financeiras, comunitárias ou institucionais. No entanto, a infraestrutura verde já é tema de estudo em diversos países e em diversas escalas e, para McMahon (2000), sua implantação se insere dentro de planejamentos que preveem a criação de estratégias

de espaços abertos com ênfase em vias verdes, cinturões verdes, pavimentos permeáveis e outros, sendo um fator importante para um desenvolvimento sustentável do meio urbano de diferentes grandezas.

O planejamento de urbanização de cidades pequenas e médias, afetadas por atividades turísticas, que se proponha a mitigar problemas urbanos e ambientais utilizando os conceitos de soluções baseadas na natureza, na inovação e na sustentabilidade, é uma das formas de se indicar meios para a revitalização e criação de espaços públicos, recuperação de áreas degradadas, tratamento de resíduos sólidos e líquidos, com foco em promover a segurança hídrica e bem estar da população local (Herzog e Rosa, 2010).

Segundo Ferreira *et al.* (2013), apesar do crescente reconhecimento dos benefícios das áreas vegetadas pelas autoridades públicas, manter ou estabelecer novas áreas verdes em cidades densamente construídas é uma prática que ainda enfrenta desafios, tanto físicos quanto econômicos. No entanto, o principal obstáculo é encontrar formas de conceber novas áreas verdes sem perder de vista seu potencial multifuncional para a cidade, aproveitando plenamente as diversas utilidades dos espaços vegetados, vistos como componentes de uma infraestrutura verde.

Além da falta de uma visão abrangente sobre as áreas verdes urbanas, outro desafio para sua implementação pelas administrações municipais no Brasil é a carência de metodologias, critérios e diretrizes para desenvolver programas e políticas públicas. A essa situação, soma-se a escassez ou a fraca cooperação e parceria entre os diversos órgãos públicos encarregados da gestão urbana, bem como entre o poder público e instituições de pesquisa, organizações não governamentais, sociedade civil e iniciativa privada, desperdiçando valiosas oportunidades de colocar em prática novas teorias urbanísticas e paisagísticas, trocar experiências e obter maior participação e envolvimento da comunidade nas decisões políticas e diretrizes das cidades (Ferreira *et al.*, 2013). Nesse contexto, as áreas costeiras do Estado do Rio Grande do Norte, onde há uma predominância de pequenas cidades, vêm passando por mudanças significativas do ponto de vista espacial, as quais estão associadas ao crescimento e expansão da atividade turística (Gomes, 2006 *apud* Silva e Oliveira, 2013). Sobre isso, segundo Veiga e Silva (2004), a alocação de áreas para determinadas atividades, como as relacionadas ao turismo, pode causar impactos ambientais, sociais e econômicos importantes e irreversíveis. Além de estarem intrinsecamente relacionadas às alterações climáticas.

As cidades já sofrem com as mudanças climáticas e necessitam integrar nos seus planejamentos medidas de adaptação/mitigação aos eventos climáticos. O principal impacto das mudanças climáticas em zonas costeiras está relacionado ao aumento relativo do nível médio do mar, que em decorrência deste fato ocorre a translação de praias e cordões de dunas em direção à terra; reduz a faixa de areia, com risco de invasão de ondas e consequente aumento da intrusão salina em reservas estuarinas, prejudicando ecossistemas e captação de água em algumas localidades; e promove erosão costeira devido à formação de ondas mais altas e marés meteorológicas mais elevadas (Muehe, Rosman, 2011 *apud* Silva, 2019).

A Agenda 2030 (ONU, 2015) é um documento oficial das Nações Unidas intitulado "Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável". Este documento foi adotado pelos Estados-Membros da ONU durante a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável em setembro de 2015. O documento detalha 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS e suas metas associadas, delineando um roteiro para um desenvolvimento sustentável em todo o mundo. O ODS 6 (Água e Saneamento), o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima) têm uma relação direta com segurança hídrica e saneamento básico, a abordagem relacionada às mudanças climáticas e à construção de cidades mais sustentáveis e resilientes. Além disso, as cidades mais sustentáveis e resilientes promovidas pelo ODS 11 podem ajudar a reduzir a vulnerabilidade das comunidades urbanas aos impactos das mudanças climáticas, tornando-as mais capazes de lidar com eventos climáticos extremos, como inundações, ondas de calor e tempestades.

Esta pesquisa tem como objeto de estudo o distrito de Praia da Pipa, localizado no município de Tibau Sul, pertencente ao Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. Nesta localidade ocorre um processo de expansão urbana irregular que tem resultado na remoção da vegetação, consequentemente no aumento da declividade nas falésias, em problemas de drenagem e em riscos de processos de erosão naturais. Apresenta, também um quadro natural composto por recursos naturais importantes, como campos dunares e manguezais, mas que estão sendo modificados pela ampliação de áreas voltadas ao desenvolvimento de atividades agrícolas, aquicultura e pela expansão imobiliária, que é motivada principalmente pela intensa atividade turística praticada no município (Pereira, Cestaro e Diniz, 2021).

O distrito da Praia da Pipa é uma Área de Preservação Ambiental - APA e tem

uma paisagem de abundância de recursos naturais que exercem um papel de importância econômica para diversos setores. No entanto, tanto município quanto o distrito são afetados, de forma crescente, pelo uso desordenado do solo, pelo desmatamento e pela degradação dos ecossistemas, modificando a fauna e a flora desses locais. Além da instalação de empreendimentos empresariais que influenciam na desarticulação das comunidades nativas e descaracterização da área (Silva e Oliveira, 2013).

Este projeto de pesquisa tem o intuito de discutir soluções que promovam a integração da natureza com a cidade, que visem um desenvolvimento urbano sustentável, a partir da investigação da viabilidade da implementação de infraestruturas verdes na Praia da Pipa, apresentando uma metodologia de tomada de decisão para escolher tipologias dessa natureza, realizando análises espaciais de dados e seleção de critérios de implantação. Assim, objetivamos encontrar soluções para mitigar os impactos causados pela expansão urbana e propor diretrizes para sua implementação.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Inserção de infraestruturas verdes aplicáveis na Praia da Pipa – RN, para contribuição na mitigação e adaptação dos efeitos da expansão urbana na área de estudo.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a malha urbana da Praia da Pipa para a identificação de área de relevância ecológica, que possibilite a aplicação de infraestruturas verdes.
- Definir critérios para seleção e mapear local para implementação de tipologias de infraestruturas verdes, considerando a respectiva viabilidade de implementação.
- Propor medidas de adaptação e mitigação no recorte de estudo, por meio de diretrizes de implementação de infraestruturas verdes que podem ser integradas ao plano diretor.
- Propor dispositivos na atualização do Plano Diretor de Tibau do Sul, para a criação de diretrizes que estejam vinculadas com as infraestruturas verdes.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Urbanização, Saneamento e Gestão Hídrica

Devido ao desenvolvimento urbano das últimas décadas e à concentração de grande parte da população, predominantemente, em pequenos espaços, sem planejamento prévio, os ecossistemas terrestres e aquáticos estão sendo seriamente impactados, assim como a própria população a partir de problemas advindos da falta de planejamento do uso do espaço urbano. Com diferença de grau e intensidade, todas as cidades brasileiras exibem problemáticas parecidas. O seu tamanho, tipo de atividade, região em que se inserem, entre outros, são elementos de diferenciação, mas em todas elas problemas como os de emprego, habitação, transportes, do lazer, da água, dos esgotos, da educação e saúde são genéricos e revelam enormes carências (Santos, 1993).

Silva e Romero (2010 *apud* Falcão, 2018) comentam como a expansão urbana se dá sob um modelo de ocupação dispersa, em que a cidade se lança sobre a paisagem natural, se apropriando e eliminando recursos naturais e, conseqüentemente, gerando problemas ambientais. Para Campana e Tucci (1994 *apud* Falcão, 2018), a expansão urbana impacta diretamente o ciclo hidrológico, dado que o processo de urbanização interfere no regime de escoamento das águas pluviais.

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2015), a segurança hídrica visa assegurar o acesso sustentável à água de qualidade, em quantidade adequada à manutenção dos meios de vida, do bem-estar humano e do desenvolvimento socioeconômico; garantir proteção contra a poluição hídrica e desastres relacionados à água; preservar os ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política. Conforme argumenta Spirn (1995), a falta de diretrizes de planejamento nas cidades que considerem a dinâmica dos ecossistemas implica em conflitos ambientais que impactam diretamente a segurança hídrica. Para esse autor, devido à crescente necessidade de soluções e estratégias que minimizem e mitiguem os efeitos da degradação ambiental e do esgotamento dos recursos naturais, surge uma perspectiva de planejamento sustentável do cenário urbano, de forma a integrar corpos hídricos e áreas verdes.

A partir da análise de Martínez *et al.* (2020) sobre o cenário de mudanças climáticas, crescimento demográfico, aumento das taxas de urbanização, da intensificação da poluição e degradação dos recursos hídricos, é urgente que

diferentes regiões promovam a implementação de medidas que impulsionem mudanças e melhorias na gestão das águas. Os autores destacam que, para vencer esses desafios, o mundo precisa adotar estratégias de engenharia ou tecnológicas com abordagens alternativas, que coloquem a natureza e as questões sociais como prioridade, a fim de aumentar os benefícios que a natureza proporciona tanto ao bem-estar humano quanto à saúde e ao desenvolvimento econômico. A partir dessa ideia, diversos atores e instituições discorrem sobre as Soluções Baseadas na Natureza, termo definido pela Comissão Europeia - EC como: “ações inspiradas, apoiadas ou copiadas da natureza. Têm potencial para serem eficientes em termos de recursos e energia, e resilientes à mudança, porém, para serem bem-sucedidas devem ser adaptadas às condições locais. Muitas Soluções baseadas na Natureza resultam em múltiplos cobenefícios para a saúde, a economia, a sociedade e o meio ambiente e, portanto, podem representar soluções mais eficientes e economicamente viáveis do que as abordagens tradicionais.” (EC, 2015, p. 2).

Santos e Freiria (2023), em estudo sobre o Estatuto da Cidade e seu potencial na implementação de infraestruturas verdes comentam que, especialmente no contexto brasileiro, apresentam-se oportunidades de desenho de infraestruturas verdes incluindo elementos representados por áreas legalmente definidas ou demarcadas, bem como elementos complementares que podem ser estabelecidos junto a planos municipais através de diretrizes de construção, uso e ocupação do solo. As autoras ainda ressaltam que a Lei Federal Nº 12.651/12 estabelece que, em decorrência da expansão urbana, e consequente inclusão do imóvel rural em área urbana, a reserva legal é transformada em área verde urbana, devendo assim ser mantida, mas passando a cumprir este novo papel. Outro ponto que merece destaque é que alguns dos elementos listados na referida Lei, especialmente as áreas de preservação permanente às margens dos corpos hídricos e as unidades de conservação, abrangendo os diversos e variados ambientes naturais, naturalmente correspondem ou se relacionam diretamente com elementos de infraestrutura verde-azul.

De acordo com Martínez *et al.* (2020), por muito tempo, a infraestrutura feita pelo homem, a chamada infraestrutura cinza, tem sido usada para resolver problemas relacionados à água. Os autores destacam que, consequentemente, as soluções baseadas na natureza, que são focadas nas infraestruturas verdes com base no uso natural e áreas seminaturais para uma gestão alternativa de recursos hídricos, têm

sido negligenciadas. A infraestrutura verde oferece importantes serviços ambientais relacionados à água a partir de três perspectivas fundamentais: crescimento inteligente, adaptação às mudanças climáticas, e saúde e bem-estar. O trabalho realizado por Martínez *et al.* (2020) mostra que no campo do estudo da água, o termo 'infraestrutura verde' é relativamente novo, pois apareceu pela primeira vez no início do século XXI. A utilização desse termo cresceu exponencialmente a partir de 2013, coincidindo com o aumento dos trabalhos e pesquisas relacionados aos serviços ambientais dos ecossistemas e as possibilidades que a natureza oferece para enfrentar os problemas relacionados ao planejamento urbano, à segurança hídrica, segurança alimentar, controle de enchentes ou adaptação às mudanças climáticas.

3.2 Aspectos climáticos

Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA (2021), a preocupação internacional com o impacto das atividades humanas no planeta tem mobilizado lideranças a propor e pactuar acordos globais de preservação e estímulo à adoção de modelos sustentáveis de desenvolvimento. Encabeçando essas campanhas, do ponto de vista de sua dimensão e impacto, têm-se a Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), o Acordo de Paris e, mais recentemente, a Cúpula do Clima, realizada em abril de 2021, em resposta à evidente preocupação dos países quanto às mudanças climáticas e ao cumprimento das metas de redução da emissão de gases do efeito estufa.

De acordo com o *Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC (2021), uma das ferramentas para lidar com as mudanças climáticas é a agenda de desenvolvimento sustentável, que inclui os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pelas Nações Unidas em 2015; entre eles, o objetivo 11 - promover cidades e assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis, e o 13 - tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos (ONU, 2015). Podemos destacar várias ações ambientais que ajudarão a mitigar os eventos climáticos extremos, como a restauração dos manguezais e restingas, a recuperação da vegetação em encostas, o aumento da captação de água e carbono pelas florestas urbanas e o plantio de árvores, aproveitando assim a infraestrutura verde e azul, que introduz novas estruturas para uma urbanização mais resistente às mudanças climáticas e proporciona defesas naturais contra inundações e deslizamentos.

O primordial estímulo às estratégias de adaptação climática no planejamento urbano no Brasil foi a concepção do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima. Este promove a integração do ordenamento do território com a preservação ambiental e a mitigação dos riscos de desastres naturais. Em face da vulnerabilidade das cidades a eventos climáticos extremos, as Soluções Baseadas na Natureza (SbN) emergem como estratégias para a conservação da biodiversidade, enfatizando medidas de adaptação baseadas em ecossistemas (MAbE), as quais fortalecem a resiliência urbana (Rodrigues, Molina Júnior e Canteras, 2023).

As estratégias para tornar as cidades menos vulneráveis e mais capazes de se adaptarem aos riscos climáticos são fundamentadas no reforço de sua capacidade de resistência, visando atenuar ou absorver os impactos do clima, através do uso do capital natural; isto é, elementos da natureza que oferecem benefícios significativos (serviços ecossistêmicos); incluem-se aqui a captura ou eliminação de CO₂, proteção contra a erosão do solo e risco de inundação, habitats para a vida selvagem, polinização e áreas para lazer e bem-estar, e suas respectivas funções ambientais (Rodrigues, Molina Júnior e Canteras, 2023).

No Plano Nacional de Adaptação - PNA (2016) definido após o acordo de Paris de 2015, às ações adaptativas devem se pautar pela integração de políticas nos diversos níveis de governo, setores e características territoriais que ultrapassam as fronteiras de estados e municípios. Por outro lado, o PNA estabelece a diretriz de que a adaptação à mudança do clima seja considerada no aperfeiçoamento de modelos de planejamento urbano, visando a integração do planejamento do uso e ocupação do solo à preservação ambiental, para prevenir os riscos de desastres naturais (BRASIL, 2016).

Segundo o Painel Brasileiro sobre Mudanças Climáticas (PBMC, 2016) as praias urbanas do litoral brasileiro, possuem características distintas que são relevantes para compreender o contexto atual, marcado pelas mudanças climáticas causadas pela atividade humana não sustentável. De modo que, a alta densidade populacional, o potencial paisagístico e os recursos naturais, enfrentam ameaças diante da intensificação das mudanças climáticas. Segundo Silva (2019), o desafio real é encontrar maneiras de integrar a gestão racional dos recursos naturais com a dinâmica econômica das populações, visando o equilíbrio ambiental e a melhoria da qualidade de vida em meio às transformações do mundo contemporâneo.

No contexto atual, o principal efeito das mudanças climáticas em áreas

costeiras é o aumento relativo do Nível Médio do Mar - NMM, o que resulta em movimentação de praias e cordões de dunas em direção ao interior, diminuição da extensão de areia, com o risco de invasão de ondas e consequente aumento da intrusão salina em reservas estuarinas, causando danos aos ecossistemas e comprometendo a captação de água em algumas localidades, além da erosão costeira devido à formação de ondas mais altas e marés meteorológicas mais elevadas (Muehe; Rosman, 2011 *apud* Silva 2019).

Além do fenômeno do aumento do NMM, há a questão da ocupação das zonas costeiras, que ocorre de forma desordenada. Ou seja, o espaço na faixa de praia que deveria ser reservado para as variações das marés ao longo do litoral brasileiro não é respeitado, isso pode resultar em conflitos socioambientais atuais, que requerem a intervenção tanto do Estado quanto da sociedade civil organizada. Nesse sentido, deve-se buscar soluções viáveis para os processos adaptativos, seja através de ações coletivas locais ou por meio de políticas públicas que possam satisfazer as necessidades sociais e promover uma convivência equilibrada entre as comunidades e o meio ambiente (Silva, 2019).

3.3 Aspectos legais e institucionais

Segundo a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OECD (2022), as medidas para garantir maior segurança hídrica, como combinar oferta e demanda, utilizar infraestruturas cinzas e verdes e promover gestão de riscos e resiliência, requerem uma governança robusta da água, conforme destacado nos Princípios sobre Governança dos Recursos Hídricos. De modo que é essencial estabelecer uma base jurídica para a infraestrutura verde e promover o engajamento estratégico desta tecnologia entre setores e órgãos institucionais.

A expansão da política pública de infraestrutura verde como adaptação às mudanças climáticas deve ser coordenada por órgãos governamentais e regulamentadas. O planejamento, o financiamento e a entrega de infraestrutura verde devem ser conduzidos de maneira mais formal, com apoio legislativo e orçamentário e com clareza sobre a responsabilização, a depender da natureza do sistema (OECD, 2022).

No Brasil, a implementação de iniciativas de infraestruturas sustentáveis está alinhada com diversas legislações ambientais e de recursos hídricos, como a Lei Federal Nº 6.938/1981 (Política Nacional do Meio Ambiente), a Lei Federal Nº

9.433/1997 (Política Nacional de Recursos Hídricos), as Leis Federais Nºs 11.445/2007 e 14.026/2020 (Política Nacional de Saneamento Básico) e a Lei Federal nº 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos).

Além disso, as políticas urbanas e de habitação, embora não abordadas diretamente, apresentam agendas convergentes. A falta de cobrança pela drenagem urbana no país se deve, principalmente, às dificuldades na mensuração da demanda, fragilidade político-institucional e falta de autonomia gerencial dos prestadores. O governo federal, por meio do Plano Plurianual (PPA), busca destinar recursos para subsidiar essas necessidades (Tamás e Silva, 2021).

A atualização do Marco Legal do Saneamento no Brasil (Lei Federal Nº 14.026/2020) estimulou debates sobre o cumprimento das metas nacionais propostas no Plano de Saneamento Básico (Plansab) para os demais componentes do saneamento básico. A adoção de modelos sustentáveis de desenvolvimento, com respaldo legal, é encorajada para facilitar o acesso de estados e municípios ao financiamento de outros serviços para a população, destacando a oportunidade de agendas convergentes nesse sentido (IPEA, 2021).

Segundo a revisão do Plansab, dados da Secretaria Nacional de Saneamento (SNS) apontam que, dentre os quatro componentes do setor, a drenagem urbana apresenta o maior déficit, embora esteja à frente dos componentes de resíduos sólidos urbanos e gestão nos investimentos. Entre 2003 e 2017, cerca de R\$ 7,7 bilhões foram destinados à drenagem urbana, correspondendo a pouco mais de 8% do total de R\$83 bilhões desembolsados na modalidade não onerosa para os moradores (IPEA, 2021). A ausência quase total de cobrança pela drenagem urbana no país é atribuída principalmente às dificuldades na mensuração da demanda de cada usuário, à fragilidade político-institucional e à falta de autonomia gerencial dos prestadores de serviço. Embora o foco principal dessa lei seja o mercado de água e esgotamento sanitário, o processo de sua elaboração estimulou discussões e estudos sobre o cumprimento das metas nacionais propostas no Plansab também para os demais componentes do saneamento básico (IPEA, 2021).

O Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH) estabeleceu, em 2019, requisitos estratégicos de infraestrutura e um plano de investimentos até 2035. Os projetos propostos no PNSH beneficiarão 1/3 dos 74 milhões de pessoas que vivem em áreas onde o abastecimento de água está ameaçado. De acordo com o PNSH, até 2035, serão necessários R\$ 26,9 bilhões para investimentos em infraestrutura

hídrica nova, principalmente para permitir a expansão do armazenamento e do abastecimento de água, dos quais R\$ 17,6 bilhões em recursos públicos federais (até o momento, já foram investidos R\$ 13,2 bilhões) (ANA, 2019). Assim, é necessário financiamento alternativo para prover parte da infraestrutura hídrica estratégica (ANA, 2019). O Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) monitora e atualiza o PNSH e, quando necessário, cuida de sua implementação de forma proativa. Ao fazê-lo, trabalhará em estreita colaboração com agências federais, instituições estaduais e outras partes interessadas e garantirá que o programa se vincule a outras políticas públicas para o fornecimento de saneamento e para a promoção de desenvolvimento regional (OECD, 2022). O PNSH destaca a importância das infraestruturas verdes e reconhece a necessidade de integrar e promover a implementação de infraestruturas verdes em suas estratégias e ações para garantir a segurança hídrica no país (ANA, 2019).

Os instrumentos legais, federais e estaduais, que orientam a gestão dos recursos hídricos atendem parcialmente aos objetivos de hierarquização das funções, estabelecimento de responsabilidades e participação dos atores envolvidos. No entanto, ainda há uma lacuna na compreensão e utilização plena dessa estrutura legal por parte de alguns envolvidos no processo, o que impacta sua eficácia (Tamás e Silva, 2021).

3.3.1 Cenário no Estado do Rio Grande do Norte

A Lei Estadual N° 6.908 (Rio Grande do Norte, 1996), que representa o marco regulatório da gestão dos recursos hídricos no Rio Grande do Norte, instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH) e o Sistema Integrado de Gestão dos Recursos Hídricos (SIGERH), que semelhante aos outros 16 Estados-Membros da Federação, são anteriores à promulgação da Lei das Águas que instituiu o SNGRH, e tem como objetivos:

planejar, desenvolver e gerenciar, de forma integrada, descentralizada e participativa, o uso múltiplo, controle, conservação, proteção e preservação dos recursos hídricos; assegurar que a água possa ser controlada e utilizada em padrões de quantidade e qualidade satisfatórios por seus usuários atuais e pelas gerações futuras (Art. 1º, incisos I e II).

Um dos objetivos deste Plano é a identificação de alternativas de infraestruturas hídricas com viabilidade de implantação, como parte do Plano Estadual de Desenvolvimento Sustentável. No entanto, não cita infraestrutura verdes como soluções. O plano enfatiza a proposta de um programa emergencial de abastecimento

da população, programa de monitoramento, modelo de gerenciamento dos recursos hídricos, recomendações referentes a aspectos legais e institucionais do PERH (1999).

O Plano Estadual de Recursos Hídricos é um instrumento norteador para a execução da política hídrica no Rio Grande do Norte. Elaborado pela SEMARH através de consultoria especializada, o plano foi concluído em 1999, contemplando em sua estrutura aspectos como: caracterização do Estado por bacias; estudos de planejamento, incluindo análises dos déficits hídricos, seleção e simulação de novos reservatórios de perenização e custos de novos açudes; programas e ações de monitoramento; e modelos de gerenciamento (Tóth e Silva, 2021).

O prazo para revisão do Plano foi encerrado e agora está em andamento um processo de reestruturação que visa melhorar a gestão dos recursos naturais, com ênfase na utilização, conservação e proteção dos recursos hídricos. Os gestores enfatizam a necessidade de um plano mais alinhado com a realidade física, ambiental e socioeconômica do Estado, priorizando estratégias que aumentem a segurança hídrica, especialmente durante crises (Tamás e Silva, 2021).

Os instrumentos legais federais e estaduais que orientam a gestão dos recursos hídricos atendem parcialmente aos objetivos de hierarquização das funções, estabelecimento de responsabilidades e participação dos atores envolvidos. No entanto, ainda há uma lacuna na compreensão e utilização plena dessa estrutura legal por parte de alguns envolvidos no processo, o que impacta sua eficácia.

Tamás e Silva (2021) evidenciam que o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte é um documento de caráter bem mais teórico, com extensas contextualizações, o qual em várias partes deixa de considerar especificidades e particularidades das diferentes regiões que compõem o Estado. Ao mesmo tempo, verifica-se que é possível identificar limitações quanto às orientações para garantir a segurança hídrica, no que tange às responsabilizações e definição de objetivos e metas a serem cumpridas pelos responsáveis em todos os níveis de atuação.

3.4 Plano Diretor

O Plano Diretor, delineado pelo Estatuto da Cidade, Lei Federal Nº 10.257 (Brasil, 2001), é um instrumento fundamental da política de desenvolvimento urbano, visando orientar a expansão urbana e o ordenamento do município (Brasil, 2001). Além disso, pode integrar políticas de infraestrutura verde para fomentar um

desenvolvimento mais sustentável e resistente. Segundo o Ministério das Cidades (2005), sua elaboração deve ser um compromisso entre a comunidade e seu território, podendo ser utilizado como uma ferramenta de gestão local, buscando uma abordagem sustentável para o uso dos recursos naturais e o fortalecimento econômico local.

De acordo com Santos e Freiria (2023), é essencial conduzir audiências públicas e debates para envolver a população no processo de elaboração, além de garantir a transparência ao publicar os documentos e informações produzidas, permitindo acesso a qualquer interessado. Para os autores, a construção e revisão do Plano Diretor, um instrumento muito importante para o desenvolvimento urbano, requerem a inclusão de diversos aspectos legais. Entre eles, destacam-se a delimitação territorial e ambiental, a identificação de áreas especiais e diretrizes para a conservação e ocupação dos espaços verdes municipais, além de outras medidas necessárias para garantir o cumprimento adequado das funções sociais das cidades. Esses elementos são fundamentais como instrumentos de controle e garantia do equilíbrio entre as estruturas artificiais e naturais nas áreas urbanas

Atualmente, é possível observar experiências variadas, tanto amplamente difundidas quanto incipientes, de utilização dos mecanismos da Política Urbana para promover as infraestruturas verdes em algumas cidades brasileiras. As decisões urbanísticas abrangem desde a definição de um padrão consistente de infraestruturas verdes até a prevalência de políticas que oferecem incentivos técnicos e econômicos, focando principalmente na implementação de elementos adicionais de infraestruturas verdes (Santos e Freiria, 2023).

Destaque merecido entre os instrumentos de Política Urbana promotores das Infraestruturas Verdes é o Plano de Desenvolvimento Sustentável e Ação Climática da Cidade do Rio de Janeiro, oficializado pelo Decreto Municipal N.º 47.086 (Rio de Janeiro, 2020). Este plano incorpora explicitamente a concepção de infraestruturas verdes como um elemento transversal da política municipal de Desenvolvimento Sustentável e Ações Climáticas. Entre suas iniciativas, destaca-se o estímulo a soluções como jardins de chuva e medidas para a conservação de zonas úmidas, planícies de inundação e conexões de infraestruturas verdes com a proteção dos cursos d'água e nascentes. Este último aspecto é particularmente enfatizado no contexto das ações territorializadas previstas para o Parque Linear do Canal do Portelo e do Rio Marinho (Santos e Freiria, 2023).

Recife é outro exemplo relevante de cidade brasileira que se destaca na promoção de infraestruturas verdes por meio de políticas urbanas. O Plano Climático de Recife, elaborado em conformidade com a Lei Municipal Nº 18.011 (Recife, 2014), que estabelece a Política de Sustentabilidade e Enfrentamento das Mudanças Climáticas, e o Decreto Municipal Nº 33.080 (Recife, 2019), que reconhece a emergência climática no âmbito do município, exemplificam esse compromisso. Esse instrumento de política urbana, em sua análise positiva do Ordenamento Territorial, propõe como diretriz para a implementação de políticas públicas o reconhecimento dos sistemas de drenagem como elementos estruturantes da urbanização de Recife. Nessa perspectiva, destaca-se a importância de fortalecer a infraestrutura verde composta por rios, canais, matas ciliares e manguezais, restabelecendo e conectando os espaços naturais dos cursos d'água, além de recuperar e preservar seus leitos para o escoamento da água. A Lei Municipal Nº 18.112 (Recife, 2015), também municipal, estabelece a melhoria da qualidade ambiental das edificações por meio da obrigatoriedade de instalação de "telhados verdes" e da construção de reservatórios para acumular ou retardar o escoamento das águas pluviais na rede de drenagem (Santos e Freiria, 2023).

De acordo com Drumond, Almeida e Nascimento (2023), o Plano Diretor de 2019 em Belo Horizonte estabelece que, edificações que implementarem as infraestruturas verdes e azuis em seus projetos serão elegíveis para receber redução no pagamento da Outorga Onerosa do Direito de Construir - OODC. Além disso, estas diretrizes estabelecidas pela prefeitura de Belo Horizonte em seu recente Plano Diretor incorporam metas propostas pela ONU através da Nova Agenda Urbana aprovada em 2016, durante a convenção das Nações Unidas sobre Moradia e Desenvolvimento Urbano Sustentável. No entanto, os autores citaram que na data da conclusão do seu artigo, o Projeto de Lei Municipal Nº 508 (Belo Horizonte, 2023) foi aprovado pela Câmara Municipal de Belo Horizonte, oferecendo descontos de 50% sobre o valor da OODC na área central do município. Consequentemente, a política introduzida no novo PD parece destinada ao fracasso, pois, como demonstrado pelas simulações realizadas aqui, baixos valores de OODC reduzem a viabilidade da troca entre o custo de implementação das técnicas infraestruturas verdes e azuis e a obtenção de descontos na OODC.

No contexto das políticas urbanísticas de estímulo, destaca-se a iniciativa do município de Jundiaí, presente na versão atual de seu Plano Diretor, aprovado pela

Lei Municipal Nº 9321 (Jundiaí, 2019). Essa iniciativa prevê a concessão de benefícios tributários em troca da implementação de medidas de proteção e preservação ambiental. Entre essas medidas estão o plantio de árvores nativas, a criação de áreas verdes em locais previamente impermeáveis e a instalação de telhados verdes. A redução no valor do IPTU corresponde a 5% para cada medida adotada, com um limite máximo de até 25% no total (Santos e Freiria, 2023).

Na capital da Bahia, a Lei Municipal Nº 25.899 (Salvador, 2015) estabeleceu o IPTU Verde como um programa de certificação sustentável que oferece descontos progressivos no IPTU para edificações que adotam práticas que promovem a preservação, proteção e recuperação do meio ambiente. Essa certificação é baseada em um conjunto de critérios aplicáveis tanto a novos empreendimentos quanto a edificações já existentes que tenham passado por ampliação e/ou reforma para adequação. Os critérios do IPTU Verde relacionados aos elementos de infraestrutura verde adotados pela cidade de Salvador incluem a gestão sustentável das águas e a implementação de projetos que utilizam sistemas de retardo e infiltração de água pluvial, como pavimentação permeável e telhados verdes (Souza e Souza, 2023).

A revisão do Plano Diretor em Palmas, Tocantins, foi estabelecida pela Lei Municipal Complementar Nº 400 (Palmas, 2018), delineando os instrumentos básicos e as estratégias da política de desenvolvimento do município. Essa revisão destaca a integração necessária entre as políticas de desenvolvimento urbano, saneamento básico e gestão de recursos hídricos. O plano revisado de Palmas enfatiza a sustentabilidade e a gestão adequada da drenagem urbana, incentivando a adoção de sistemas de drenagem sustentável em áreas urbanas, em complemento à drenagem convencional (Santos e Freiria, 2023).

Também merecem destaque, dentro do contexto abordado, os Planos Diretores das cidades de São Paulo e Campinas. Embora não utilizem explicitamente o termo "infraestrutura verde", esses planos promovem em suas disposições institucionais os benefícios associados, como a valorização, proteção, manutenção e expansão de parques lineares e áreas verdes urbanas. Por sua vez, o plano diretor do município de Bonito contempla diretrizes para o desenvolvimento do turismo sustentável, incluindo a preservação do patrimônio ambiental, a promoção de práticas de turismo responsável e a valorização das áreas verdes e paisagens naturais (Camargo *et al.*, 2011).

3.4.1 Plano Diretor de Tibau do Sul

O município de Tibau do Sul, em conformidade com os dispositivos legais, especialmente devido à sua localização geográfica que integra uma área de especial interesse turístico, estabeleceu seu plano diretor participativo por meio da Lei Municipal Complementar Nº 06 (Tibau do Sul, 2008), como um instrumento de desenvolvimento sustentável. Teixeira (2019), ao analisar a estrutura deste instrumento de planejamento urbano, destaca que é possível identificar diversas lacunas relacionadas à difusão da sustentabilidade. Problemas como a falta de capacidade técnica na delimitação no plano diretor e a ausência de metas claras (em curto, médio e longo prazo) para o cumprimento das ações propostas são evidentes. Isso compromete a eficácia do plano diretor em direcionar o desenvolvimento do município de maneira sustentável.

Nesse contexto, a atualização do plano diretor torna-se um momento crucial para a reestruturação da política de planejamento urbano do município. É essencial que as comunidades sejam ouvidas de forma adequada, por meio de consultas públicas, para compreenderem as mudanças no zoneamento e contribuírem para a construção dessa atualização (Maropo *et al.*, 2019). De acordo com o Estatuto da Cidade, a atualização dos Planos Diretores deve ocorrer obrigatoriamente a cada 10 anos, no mínimo. Essa periodicidade é estabelecida pelo próprio Estatuto, visando garantir que as políticas urbanas estejam sempre alinhadas com as necessidades e realidades das cidades ao longo do tempo (Brasil, 2001).

Além disso, é necessário enfrentar desafios como a estruturação de um novo instrumento de planejamento urbano que incorpore uma visão mais abrangente da realidade, voltada para o desenvolvimento sustentável. Isso poderá facilitar a criação de dados precisos e contribuir para o desenvolvimento de pesquisas e estratégias de políticas públicas voltadas para a proteção ambiental. Portanto, a atualização do plano diretor requer um diagnóstico sólido e atualizado da situação ambiental e urbanística, garantindo coerência técnica e gerando resultados positivos para o meio ambiente (Teixeira, 2019).

A drenagem é um fator importante neste estudo, pois é uma problemática que se relaciona diretamente com as infraestruturas verdes. Sobre o tema, o referido Plano Diretor traz as seguintes disposições:

Art. 71. Os serviços urbanos de drenagem de águas pluviais deverão ser garantidos, preferencialmente, através de medidas não estruturais, e em seguida de medidas estruturais, que compreendem o sistema físico

construído, de modo a propiciar segurança e conforto aos ocupantes de edificações existentes, de acordo com as seguintes diretrizes:

I – priorizar as ações de implantação do sistema de drenagem em locais como as planícies de inundação que compreendem as margens e cursos d'água, onde haja risco de inundação das edificações;

II – priorizar as ações de implantação do sistema de drenagem em locais onde o lençol freático aflora com facilidade;

III – priorizar as ações de implantação do sistema de drenagem em bacias fechadas, onde fica difícil o escoamento natural das águas;

IV – exigir para os novos empreendimentos, tais como, mas não exaustivamente, loteamentos, hotéis, conjuntos habitacionais e condomínios, projetos de drenagem com soluções que não venham a comprometer os bens públicos ou a terceiros, ou justificativa técnica que comprove a dispensa do mesmo.

Art. 72. Para facilitar a drenagem natural das águas pluviais, cada terreno ao ser utilizado deverá deixar uma área permeável do mesmo, na equivalência de no mínimo 40%, na zona urbana e de expansão urbana, conforme o caso, e 50% na zona rural, salvo exceções contidas nos quadros de prescrições para cada área, de modo a impedir que a água drenada em cada terreno seja carreada para outro local. Parágrafo único. Nos casos especiais em que sejam apresentadas soluções alternativas de drenagem, deverá ser ouvido o órgão responsável pela gestão ambiental do Município.

Art. 73. O poder público municipal é o gestor do sistema local de manejo de águas pluviais e drenagem urbana, cabendo a ele coordenar e executar, diretamente ou através de consórcio público ou concessão, todos os serviços relativos ao manejo de águas pluviais." (p.38).

Além do Plano Diretor, o município de Tibau do Sul, onde está localizado o Distrito de Pipa, conta com o Código Municipal de Meio Ambiente de Tibau do Sul (CMMATS, 2008). Esse Código dispõe sobre as normas, diretrizes e regulamentos relacionados à proteção ambiental e ao uso sustentável dos recursos naturais no município, abordando questões como o licenciamento ambiental, o controle da poluição, a preservação de áreas de interesse ambiental, o manejo de resíduos sólidos, o uso e ocupação do solo, entre outros temas pertinentes à gestão ambiental local (CMMATS, 2008).

3.5 Infraestrutura verde

Segundo Herzog e Rosa (2010), para promover um desenvolvimento urbano sustentável, é necessário implementar infraestruturas que fomentem serviços ambientais, fortaleçam a comunidade local, incentivem a gestão hídrica e promovam o desenvolvimento sustentável. Isso visa garantir um crescimento econômico que priorize o meio ambiente e as populações locais que vivem em áreas com fragilidades ambientais e econômicas. A infraestrutura verde consiste em redes multifuncionais de fragmentos permeáveis e vegetados, preferencialmente arborizados (incluindo ruas, propriedades públicas e privadas), interconectados para reestruturar o mosaico da paisagem.

De acordo com Benedict e McMahon (2006), o objetivo da infraestrutura verde

é manter ou restabelecer os processos naturais e culturais que asseguram a qualidade de vida urbana. Segundo Bae *et al.* (2021 *apud* Rodrigues, Molina Júnior e Canteras, 2023), essa tem sido considerada uma estratégia viável para minimizar os danos causados por eventos climáticos e melhorar a provisão de serviços ambientais em áreas desenvolvidas e em desenvolvimento, podendo contribuir, direta ou indiretamente, para alcançar as metas dos seguintes Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: ODS 9 - Industrialização, Inovação e Infraestrutura; ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis; ODS 13 - Ação contra as Mudanças Climáticas Globais; ODS 15 - Vida Terrestre; ODS 16 - Paz, Justiça e Instituições Fortes; ODS 1 - Erradicação da Pobreza; ODS 2 - Fome Zero e Agricultura Sustentável; ODS 3 - Saúde e Bem-Estar; e ODS 6 - Água Potável e Saneamento (Gelan e Girma, 2022 e Hanna e Comín, 2021 *apud* Rodrigues, Molina Júnior e Canteras, 2023).

A Comissão Europeia define a infraestrutura verde como:

[...] uma rede estrategicamente planejada de áreas naturais e seminaturais com outras características ambientais projetadas e gerenciadas para fornecer uma ampla gama de serviços ecossistêmicos, como purificação da água, qualidade do ar, espaço para recreação e mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Essa rede de espaços verdes (terrestres) e azuis (aquáticos) pode melhorar as condições ambientais e, portanto, a saúde e qualidade de vida dos cidadãos. Também apoia uma economia verde, cria oportunidades de emprego e melhora a biodiversidade” (Comissão Europeia, 2019).

Também chamada de infraestrutura ecológica, como levantado por Yu e Padua (2006) e Ignatieva (2010) *apud* Herzog e Rosa (2010), é um conceito emergente baseado nos princípios da ecologia da paisagem: estrutura, função e mudança. A forma do mosaico da paisagem depende não apenas de seus aspectos físicos e biológicos, mas do uso e ocupação ao longo do tempo, segundo Benedict e McMahon (2006 *apud* Herzog e Rosa, 2010).

Segundo McMahon (2000), a infraestrutura verde abrange uma ampla variedade de recursos naturais e ecossistemas nativos restaurados e características da paisagem que compõem um sistema de ligações. Os planos urbanos que considerem a infraestrutura verde podem criar uma estrutura para o crescimento futuro que assegure a preservação de recursos naturais e recursos culturais para as gerações futuras. Além disso, o investimento em infraestrutura verde pode ser também muito mais rentável do que a construção de projetos de obras públicas convencionais, como, por exemplo, reduzir o consumo de água e energia nos seus processos. A infraestrutura verde também pode garantir um abastecimento público de água com água potável de qualidade e reduzir a ocorrência de desastres causados por

inundações.

A infraestrutura cinza refere-se aos sistemas convencionais e tradicionais de engenharia, geralmente construídos com materiais convencionais, como concreto e aço. Possui uma abordagem mais rígida e centrada na engenharia civil, muitas vezes contrastando com abordagens mais sustentáveis e ecologicamente amigáveis (Herzog, 2010). Segundo Herzog (2010), os efeitos da infraestrutura cinza causam interferência e até mesmo o bloqueio de processos naturais, como, por exemplo, a supressão de matas ciliares em áreas urbanas. Desse modo, é possível inferir que o sistema de infraestrutura verde urbana visa auxiliar a ocupação territorial, reconhecendo os benefícios oriundos dos sistemas ecológicos naturais.

Na sequência, Herzog (2010) criou uma metodologia de levantamento, análise e diagnóstico para planejar e projetar Sistemas Naturais (Ecológicos). Para tal, o autor descreve os passos a serem realizados: levantar o histórico e as transformações que ocorreram nos corpos d'água; analisar comparações das intervenções ao longo do tempo que alteraram os fluxos e processos naturais das águas, como o uso dos solos e a consequente impermeabilização; mapear mananciais, corpos d'água, canais de drenagem visíveis ou subterrâneos com o objetivo de conectar e recarregar lençóis d'água subterrâneos e despoluir para melhor aproveitamento das águas; levantar histórico das transformações que ocorreram com a cobertura vegetal, levando em consideração a eliminação de ecossistemas nativos e os fragmentos remanescentes; análise comparativa das intervenções ao longo do tempo que alteraram os fluxos da fauna e flora decorrentes da transformação dos usos do solo; mapear fragmentos de ecossistemas existentes, parques, praças e sua cobertura vegetal e arbórea; e mapear os corredores com vegetação, como ruas, margens de rios, córregos, lagos, dentre outros.

A partir da leitura do estudo de Benedict e McMahon (2006), é possível identificar alguns princípios que fundamentam e regem o êxito da infraestrutura verde. São eles: conectividade; contexto em que será inserida a infraestrutura; conhecimento científico sobre a teoria e práticas em planejamento territorial; promoção, simultânea, da conservação e do desenvolvimento; planejamento e implantação prévia à infraestrutura cinza; visualizar o caráter de investimento público fundamental, devendo, portanto, receber financiamento; assegurar benefícios para os recursos naturais e para as pessoas; considerar os interesses e necessidades de todos os segmentos sociais envolvidos; considerar a abrangência geográfica da infraestrutura

verde, incorporando ações externas às comunidades; e comprometimento a longo prazo. Assim, planejar um sistema de infraestrutura verde significa saber utilizar as oportunidades que já existem na paisagem, como terras com valor ecológico de conservação e áreas que se destinam a outro uso.

Não se pode desconsiderar a infraestrutura já instalada. Assim, existem diversos modos para promover a articulação entre a infraestrutura cinza consolidada e a infraestrutura verde. De acordo com Cormier e Pellegrino (2008), a aplicação de sistemas naturais à infraestrutura existente pode ser realizada mediante tipologias de espaços tratados paisagisticamente, que lidam principalmente com a questão de drenagem e qualidade da água, como:

- Jardins de chuva: depressões topográficas que recebem o escoamento da água pluvial proveniente de telhados e demais áreas impermeabilizadas.
- Canteiros pluviais: assemelham-se aos jardins de chuva, mas com a dimensão espacial reduzida (mais compactos).
- Biovaleta ou valetas de biorretenção vegetadas: semelhantes aos jardins de chuva, constituem depressões lineares preenchidas com vegetação, elementos filtrantes e solo.
- Lagoa pluvial: bacias de retenção onde se recebe o escoamento superficial das águas por meio de drenagens naturais ou artificiais.
- Lagoa seca ou bacia de detenção: depressões vegetadas e permeáveis que recebem as águas pluviais, retardando o escoamento superficial, ao mesmo tempo em que contribuem para a infiltração da água no solo.
- Alagados construídos (*wetlands*): áreas construídas para receberem as águas pluviais, promovendo a retenção e a filtragem dos poluentes.
- Teto e paredes verdes: coberturas de vegetação, plantadas em cima do solo tratado (compostos orgânicos e areia).
- Cisterna: coleta da água das chuvas para posterior reuso.
- Grade verde: arranjos que condensam as demais tipologias apresentadas, constituindo uma rede de intervenções para o meio ambiente urbano.
- Pavimento drenante: material utilizado para pavimentação, cuja composição permite a drenagem das águas pluviais.
- Bioengenharia: técnicas ecológicas de contenção de muros, taludes e

encostas ao associar materiais inertes à vegetação.

Corredores verdes (*greenways*): planejados para acompanhar a extensão de rios, conectando fragmentos de ecossistemas isolados.

Herzog e Rosa (2010) evidenciam os inúmeros benefícios da incorporação dessas tipologias na infraestrutura da cidade, como:

- Promover a infiltração, detenção e retenção das águas das chuvas no local, evitando o escoamento superficial.
- Filtrar as águas de escoamento superficial nos primeiros 10 minutos da chuva, provenientes de calçadas e vias pavimentadas contaminadas por resíduos de óleo, borracha de pneu e partículas de poluição.
- Criar habitat e conectividade para a biodiversidade.
- Amenizar as temperaturas internas em edificações e mitigar as ilhas de calor.
- Promover a circulação de pedestres e bicicletas em ambientes sombreados, agradáveis e seguros.
- Diminuir a velocidade dos veículos.
- Conter encostas e margens de cursos d'água para evitar deslizamentos e assoreamento.

As tipologias devem ser incluídas em planejamentos e projetos, sendo incorporadas às áreas já urbanizadas, quando houver oportunidades como reformas, renovações e adaptações das edificações e demais espaços impermeabilizados existentes (*retrofit*). A infraestrutura verde, em todas as suas escalas, reconhece os serviços que a natureza oferece à cidade e seus consequentes benefícios. Estes podem ser de ordem econômica, ecológica, social ou cultural. Entretanto, nem sempre são os mesmos, uma vez que variam em virtude das peculiaridades apresentadas em cada local de implantação. Desse modo, é possível inferir que o sistema de infraestrutura verde urbana visa auxiliar a ocupação territorial, reconhecendo os benefícios oriundos dos sistemas ecológicos naturais (Santos, 2004).

3.6 Planejamento urbano e a implantação de infraestruturas verdes

Em 2015, a ONU-Habitat lançou as Diretrizes Internacionais para o Planejamento Urbano e Territorial, que, além de ser uma ferramenta técnica, é construída a partir de um processo de tomada de decisões participativo, lidando com os interesses de diversos setores, sendo uma estratégia geral para o desenvolvimento

e políticas urbanas nacionais, regionais e locais. O planejamento urbano e territorial representa um componente fundamental para a promoção da democracia local, com o intuito de garantir a urbanização sustentável e a qualidade dos espaços (ONU, 2015).

Segundo Meneguetti (2007), em 1960, Ian McHarg (paisagista, planejador urbano e educador) foi considerado o estudioso que promoveu os maiores avanços no planejamento ambiental do século XX, defendendo e estimulando a ecologia como ciência fundamental para que a arquitetura da paisagem e o planejamento regional restituísse as ações antrópicas na paisagem, sendo conhecido por implementar o método de “análise da adequação”, que direciona a ecologia ao planejamento e projeto. As técnicas utilizadas pelo método de McHarg envolviam a sobreposição de mapas que caracterizavam aspectos da fisiografia, drenagem, solos, recursos críticos naturais e culturais, com a finalidade de identificar espaços adequados para utilizações antrópicas distintas. De acordo com Lima (2009 *apud* Santos, 2014), planejamentos urbanos que integram a ação e o desenvolvimento de técnicas, visando à redução dos impactos de caráter antrópico e à qualidade de um ambiente equilibrado e pleno, têm a capacidade de oferecer a otimização e racionalização do uso da paisagem e de seus elementos.

Para McMahon (2000), em um de seus artigos sobre infraestrutura verde, tem havido uma crescente conscientização dos governos locais e estaduais sobre a necessidade de planejar a infraestrutura verde. Uma vez que o planejamento e investimento somente na infraestrutura humana – educação, serviços de saúde, cuidados com idosos e deficientes – não se faz eficiente se não estiver conectado com a esfera ambiental. Parte da sociedade já reconhece que não apenas o espaço verde é uma necessidade básica da comunidade, mas que deve ser planejado e desenvolvido como um sistema integrado. Segundo McMahon (2000), as tendências que influenciam nas tomadas de decisões são: Fragmentação da Paisagem; Mandatos Federais de Qualidade da Água; Proteção de Espécies Ameaçadas; Preocupações com a Saúde Pública; Revitalização Urbana e Desenvolvimento Sustentável.

A infraestrutura verde inserida no planejamento urbano propicia a integração da natureza com a cidade e busca tornar o desenvolvimento urbano mais sustentável. Favorece também a mitigação de impactos ambientais e a adaptação para enfrentar os problemas causados pelas alterações climáticas, como, por exemplo, chuvas mais

intensas e frequentes, aumento das temperaturas (ilhas de calor), desertificação, perda de biodiversidade e outros (Herzog, 2010). Para Herzog e Rosa (2010), uma infraestrutura verde, quando cuidadosamente planejada, implementada e monitorada, pode se configurar como alicerce para a resiliência urbana. Essa abordagem pode atuar como meio para adaptar e revitalizar o tecido urbano, conferindo-lhe resiliência aos impactos das mudanças climáticas e preparando-o para uma economia de baixo carbono. Essa infraestrutura amplia a capacidade de resposta e recuperação diante de eventos climáticos, facilita a transição de fontes de energia poluentes ou dispendiosas para fontes renováveis e fomenta a produção local de alimentos.

Segundo Herzog e Rosa (2010), para assegurar a eficiência e eficácia do planejamento e do projeto da infraestrutura verde, é importante adotar uma abordagem sistêmica com diretrizes abrangentes e transdisciplinares. Isso requer uma análise minuciosa dos aspectos abióticos, bióticos e culturais. Inicialmente, faz-se necessário realizar um levantamento detalhado dos condicionantes geológicos, geomorfológicos, hídricos (preferencialmente com a bacia hidrográfica como unidade de macroplanejamento), climáticos, cobertura vegetal, sistemas de drenagem e esgotamento sanitário, bem como do uso e ocupação do solo. Além disso, é crucial obter conhecimento sobre a biodiversidade local. A coleta de dados e mapas históricos de uso e ocupação do solo, hábitos e cultura local também desempenha um papel relevante. O processo deve ser dinâmico, flexível e, acima de tudo, participativo, envolvendo representantes de todos os segmentos da sociedade afetados pelo projeto. De modo que se deve identificar os anseios e problemas trazidos pela comunidade, buscando novas ideias provenientes da vivência e experiência local, é essencial. Visto que a participação ativa dos usuários no desenvolvimento do planejamento e projeto é crucial para garantir a sustentabilidade de longo prazo da infraestrutura verde (Ribeiro, 2001; Boucinhas, 2007; e Costa *et al.*, 2007 *apud* Herzog e Rosa, 2010).

A elaboração de um bom diagnóstico resultante dos levantamentos indicará oportunidades e limitações da área. Idealmente, a infraestrutura verde deve ser planejada antes da ocupação, permitindo a conservação de áreas frágeis e de grande valor ambiental, como áreas alagadas, corredores ripários, encostas instáveis com risco de deslizamento e fragmentos de ecossistemas nativos. Uma vez que a integração desses espaços na infraestrutura verde garantirá a manutenção dos serviços ecossistêmicos, como água e ar limpos, estabilização de encostas de forma

natural, prevenção de enchentes e deslizamentos, conexão de fluxos hídricos e bióticos, prevenção de assoreamento, entre outros (Bolund, 1999; Herzog, 2009; e Elmqvist, 2010 *apud* Herzog e Rosa, 2010).

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (2020) sugere que uma das maneiras possíveis para realizar esse planejamento de implementação de infraestrutura verde é o emprego de indicadores ambientais que representem a situação atual e expressem as potencialidades, fraquezas, sucessos e conflitos enfrentados pelos gestores. A interpretação do território por meio de indicadores quantificáveis, sujeitos a análise de sua relevância e relacionados aos conjuntos de dados da malha urbana. IPT (2020) recomenda a avaliação de 13 indicadores, os quais representam nove serviços ambientais e quatro funções ambientais, e esses indicadores foram concebidos para refletir as áreas prioritárias para a expansão da prestação de serviços ambientais por meio da aplicação de infraestrutura verde nas áreas urbanas.

O mapeamento dos indicadores ambientais no território é crucial para subsidiar o planejamento e a tomada de decisões. Os mapas ajudam na avaliação e na visualização de áreas prioritárias para a implementação da infraestrutura verde, com o objetivo de preservar, restaurar ou expandir os serviços ambientais mais significativos no contexto municipal. Para mapeamento, o IPT (2020) salienta que é necessário coletar informações cartográficas de alta qualidade, levando em consideração os dados disponíveis em bases existentes.

3.7 Expansão urbana na Praia da Pipa

Veiga e Silva (2004) declararam que a intensificação das atividades turísticas pode ser prejudicial ao ambiente costeiro natural, e que as condições humanas favoráveis ao desenvolvimento de atividades turísticas devem atender a critérios que envolvem, entre outras coisas, acesso, ausência de adensamentos populacionais e uso propício.

O município de Tibau do Sul começou a sofrer mudanças significativas em sua paisagem nos anos 90, iniciando uma nova configuração espacial do lugar. Araújo (2002) comenta que esse processo vem se acentuando nas duas últimas décadas. Por outro lado, ressalta que o turismo é uma atividade recente na região como fonte de renda e emprego, tendo sido incrementado após a abertura, em 1992, da rodovia estadual “Rota do Sol”, que une a capital, a cidade do Natal, aos municípios do litoral

sul do Estado. Na praia da Pipa, distrito pertencente ao município de Tibau do Sul, há uma maior concentração de meios de hospedagem, onde há predominância de desmatamento para construção desses empreendimentos. Em consequência, a Praia de Pipa sofre com falta de abastecimento de água, além de graves deficiências em saneamento sanitário e destinação de resíduos sólidos.

Para Silva e Oliveira (2013), a expansão turística em Tibau do Sul é considerada um problema ambiental, pois está ocorrendo sem planejamento. A intensa exploração da paisagem gera conflitos entre empreendedores e nativos, porém o crescimento da atividade ainda é uma política dominante nesta área, havendo a necessidade da tomada de medidas para conservação e preservação dos recursos naturais.

A Praia da Pipa possui um histórico de expansão irregular; a grilagem de terras foi frequente por muitos anos, tanto por falta de fiscalização como por falta de regulação e legislação de ordenamento territorial. No ano de 2008, foi criada a Lei Municipal Complementar N° 06 (Tibau do Sul, 2008b), que dispõe sobre o plano diretor participativo de Tibau do Sul, sendo o principal instrumento da política de desenvolvimento urbano, social, econômico, cultural e de proteção ambiental, determinante para os agentes públicos e privados que atuam ou residem no Município (Tibau do Sul, 2008b). Nesse mesmo ano, também foi criado o Código de Meio Ambiente que visa à proteção do patrimônio ambiental, as garantias que conferem cidadania e oportunidades de uma vida saudável para as atuais e futuras gerações, o uso racional e responsável dos recursos naturais para o alcance do desenvolvimento sustentável do município e a delimitação dos deveres, direitos e obrigações de ordem pública e privada concernentes à consecução desses objetivos (Tibau do Sul, 2008a).

Conforme indicado por Silva, Franca e Oliveira (2023), o município de Tibau do Sul abriga áreas especiais de interesse ambiental, com quatro categorias mencionadas no Plano Diretor Municipal - PDM: área especial de interesse ambiental de uso indireto, área especial de interesse ambiental de uso direto, Unidades de Conservação - UCs e corredores ecológicos. No entanto, o PDM não faz referência às UCs Área de Proteção Ambiental Bonfim-Guaraíra – APABG e Parque Estadual Mata da Pipa – PEMP, que já estavam estabelecidas antes da aprovação do plano. No tópico relacionado às unidades de conservação da natureza, o documento se limita a afirmar que as UCs receberam reconhecimento na legislação ambiental municipal. A expansão urbana exerce pressão sobre essas UCs, e a gestão do uso do solo e a

expansão de empreendimentos turísticos na faixa litorânea requerem monitoramento sistemático por parte do poder público.

Um dos desafios mais complexos da Praia da Pipa é a ocupação de áreas nas falésias, como expõe Costa (2022) em seu estudo, que evidencia que a erosão emerge como o principal agente responsável pelo recuo da falésia em Pipa/RN, sendo a erosão pluvial intensificada e acelerada por atividades humanas, resultando em eventos mais frequentes de movimentos de massa (Pierri, 2008; Silva, 2019; e Idema, 2021 *apud* Costa, 2022). A ocupação desordenada no topo da falésia desencadeia conflitos socioeconômicos e ambientais, acarretando potenciais riscos à população (Silva *et al.*, 2020 *apud* Costa, 2022). Costa (2022) realizou levantamento de vistorias do Idema que indicam a necessidade de reorganização da rede de drenagem de águas pluviais, uma vez que a maioria das propriedades carece de um sistema de drenagem eficiente, resultando em fluxos desordenados que provocam erosão e saturação do solo. Apontou também que os dados apresentados em seu estudo evidenciam a prática comum de direcionar o escoamento da drenagem pluvial para a falésia, sendo que muitas propriedades lançam essa água de maneira não padronizada, inclusive nas vias públicas e na rede de esgoto. A caixa coletora de água pluvial da Avenida Baía dos Golfinhos despeja todo o conteúdo na base da falésia, sobrecarregando um sistema já precário e tornando-o inadequado para uso, conforme suas pesquisas junto à Secretaria de Meio Ambiente, Urbanismo e Mobilidade Urbana - SEMURBMO.

O Projeto Falésias (Amorim e Maia, 2021) destaca que as falésias vivas são ambientes naturalmente instáveis, cuja instabilidade pode variar de acordo com diversos fatores. Essa condição torna-se ainda mais preocupante diante das projeções de aquecimento global, conforme indicado no relatório do IPCC 2021, que prevê um aumento da temperatura global de até 1,5°C até a metade do século. Nesse cenário, estima-se que o nível do mar possa subir até 0,69 m até o ano de 2100, especialmente ao longo do litoral do Rio Grande do Norte. Considerando que a base das falésias vivas já está sujeita aos impactos diretos das ondas durante a preamar, um aumento do nível do mar tenderá a intensificar o processo de erosão nessas áreas (Amorim e Maia, 2021).

3.8 Sensoriamento Remoto

De acordo com Leite e Rosa (2006), o uso das geotecnologias é fundamental

para mapear o ambiente a ser estudado e compreender sua realidade. O Sensoriamento Remoto – SR é uma técnica utilizada nesses estudos que consiste na obtenção de informações acerca de um objeto, área ou fenômeno localizado na Terra, sem que haja contato físico com o mesmo. O sensoriamento remoto, portanto trata do processo de aquisição de imagens de um determinado território, através da radiação eletromagnética gerada pelo sol ou pela terra que é emitida por determinados objetos que compõem este território e captada por sensores instalados em aviões ou em satélites.

Segundo Leite e Rosa (2006), os dados do SR são importantes para análises urbanas, fotografias aéreas em grande escala e podem evidenciar detalhes da estrutura urbana. As atividades envolvendo o geoprocessamento são executadas por sistemas específicos mais comumente chamados de Sistemas de Informação Geográfica - SIG, combinando metodologias e dados georreferenciados para apoiar a tomada de decisões (INPE, 2019). Por meio do SIG, segundo Leite e Rosa (2006), informações podem ser armazenadas, manipuladas e analisadas, gerando novos mapas com rapidez e precisão, o que torna o SIG uma ferramenta crucial para atualizar dados e diagnosticar o ambiente, esse sistema possui grande potencial para o planejamento, automatizando operações e gerando novos dados georreferenciados. As geotecnologias são úteis no planejamento da área de estudo, fornecendo insights para a gestão urbana e compreensão da paisagem. O SR de alta resolução possibilita o mapeamento detalhado, enriquecendo os estudos urbanos (Leite e Rosa, 2006).

O *software* QGIS é um SIG criado pela *OpenSource Geospatial Foundation* (OSGeo, 2018) e vem sendo disponibilizado em código aberto e gratuito na internet desde 2009, para apoiar e construir programas geo-espaciais. Conforme Pereira (1973 *apud* Rouse, 2018), entre as técnicas de SR, o índice de vegetação *Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) é um dos mais utilizados para determinar o vigor da vegetação. Esse índice considera os valores de refletância dos canais espectrais nos comprimentos de ondas do vermelho (0,6 μm) e do infravermelho próximo (0,8 μm).

O NDVI é utilizado para identificar a vegetação de determinada área e a aplicação deste índice permite visualizar as variações sazonais e anuais da vegetação. Assim, a série temporal do índice NDVI pode indicar onde e quando a vegetação está mais vigorosa (Pereira, 2018). Segundo Pereira (2018), o NDVI determina resultados de vegetação de -1 a +1, sendo que as áreas com maior

vegetação aproximam-se do valor +1. Destaca-se que para visualizar a distribuição espacial, a evolução ao longo do tempo e a influência das condições climáticas das áreas verdes em determinada área, é indicado o uso do NDVI (Folhes, 2007 *apud* Pereira, 2018).

Segundo tutorial de Sá (2014), o mapa de declividade pode ser elaborado com o auxílio do software QGIS versão 2.14.7 ou superior. Inicialmente, o autor realizou o recorte da área de estudo utilizando a imagem *Shuttle Radar Topographic Mission – SRTM*, que é um método de aquisição e processamento digital de dados que gera como produto o modelo digital de elevação do terreno. A partir da importação da camada *Raster*, no QGIS foi selecionado o item de análise do Modelo Digital de Elevação - MDE, assim como a declividade em porcentagem. O MDE foi utilizado para determinação das classes de declividade a partir de das classes categorizadas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. O mapa foi inicialmente gerado na banda Simples Cinza e pode ser renderizado para uma banda Simples Falsa-Corpara uma melhor visualização (Sá, 2014).

O mapa de declividade produzido a partir do sensoriamento remoto, é instrumento que ajuda a caracterizar as áreas, como por exemplo, áreas com declividades suaves, pode ser viável criar parques lineares, corredores verdes ou áreas de recreação ao ar livre, que também funcionam como estruturas de contenção de água durante eventos de chuva intensa, reduzindo o risco de enchentes. Por outro lado, em áreas com declividades mais íngremes, podem ser implementadas as infraestruturas verdes, que ajudam a controlar erosões e a gerenciar o escoamento da água (Rocha, 2019).

O mapa de declividade é um recurso importante na implementação de infraestruturas verdes devido à sua capacidade de fornecer informações detalhadas sobre o terreno. A relação entre mapa de declividade e a implementação de infraestruturas verdes está na capacidade de identificar áreas com diferentes graus de inclinação e usá-las de forma estratégica para projetos que visam promover a drenagem pluvial, proteger contra a erosão do solo, aumentar a biodiversidade e fornecer espaços públicos recreativos (Rocha, 2019).

Através da integração de mapas, Teixeira (2019) elaborou o mapa apresentado na Figura 14 de áreas de riscos com processo de urbanização, que mostra onde atualmente está ocorrendo processo de urbanização sobre áreas consideradas sensíveis aos processos de erosão natural e, portanto, podem ser consideradas como

áreas de risco a acidentes ambientais envolvendo movimentação de massas. A Figura 1 mostra que há um processo de urbanização ocorrendo em áreas de elevada declividade coincidentes com solos e rochas consideradas sensíveis aos processos de erosão natural e, portanto, estas áreas são suscetíveis a movimentações de massas que podem ocasionar acidentes ambientais. (Teixeira, 2019). Segundo Teixeira (2019), as áreas planas são mais propensas a inundações. Diante desse contexto, as vias com declividade de 0 a 3% (cor verde escuro), foram identificadas e compatibilizadas com áreas que Teixeira (2019) cita em seu estudo como propensas à expansão urbana.

Figura 1 - Mapa com zonas urbanizadas no município de Tibau do Sul, RN.



Fonte: Teixeira (2019).

3.9 Projetos de infraestrutura verdes implantados

Segundo Farah (2022), o conceito de infraestrutura verde abriu caminho para diversas áreas de intervenção na construção da cidade ecológica, transformando o planejamento da paisagem urbana e dos espaços públicos em uma ferramenta crucial para a construção de um ambiente urbano sustentável. Implantado em Nanterre, na área metropolitana de Paris, o *Parc du Chemin de l'Île* ocupa uma área de 14,5 hectares e se destaca como um projeto inovador em termos de suas finalidades ambientais, sendo um exemplo de intervenção urbana com uso de infraestrutura

verde. Primeiramente, observa-se sua contribuição para o sistema de espaços livres em nível distrital, desempenhando funções essenciais nas dinâmicas e fluxos ecológicos da região. Em segundo lugar, destaca-se sua ação local, que inclui serviços como limpeza da água para reuso em irrigação, cultivo de horta urbana com jardins familiares, infiltração da água através da permeabilidade do solo e promoção da biodiversidade por meio da recomposição ecossistêmica e criação de ambientes aquáticos (Farah, 2022).

Ressalta-se que a água é o elemento central do *Parc du Chemin de l'Île*, encontrando-se principalmente no Rio Sena, que margeia todo o perímetro do parque, e nas bacias filtrantes. Estas últimas consistem em jardins plantados com vegetação helófitas, representando um dos principais atrativos do parque. Essas bacias são responsáveis pelo tratamento da água retirada do rio, criando ambientes paisagísticos com deques que permitem a passagem dos visitantes e oferecem opções de lazer. O conjunto é composto por sete bacias, por onde a água é conduzida sucessivamente, promovendo seu processo de depuração. Inicialmente bombeada do Rio Sena, é elevada por meio de cinco parafusos de Arquimedes, sendo o primeiro responsável por retirá-la diretamente do rio, enquanto os outros a conduzem até a bacia do patamar mais alto (Farah, 2022). A Figura 2 e 3, mostra vista geral das bacias filtrantes.

Figura 2 - Vista geral das bacias filtrantes.



Fonte: Fotografia Ivete Farah, 2012. Acervo da Autora.

Figura 3 - Bacias filtrantes.



Fonte: Fotografia Ivete Farah, 2012. Acervo da Autora.

O *Parc du Chemin de l'Île* personifica a harmonia entre cidade e natureza, destacando-se pela integração dos processos naturais na configuração da paisagem e pela coexistência equilibrada entre o ambiente urbano e o entorno natural. Essa sinergia se manifesta através das vias que atravessam o parque, contornando áreas de vegetação. As palavras do seu *designer*, Denis Geoffroy-Dechaume, ressaltam o conceito subjacente à sua criação: “considerar a natureza como parceira, não apenas como uma mera presença convidada” (Hauts de Seine, 2021 *apud* Farah, 2022). Este empreendimento reforça a ideia de que projetos de espaços públicos, concebidos com uma abordagem contemporânea, constituem um valioso meio para promover o desenvolvimento de um urbanismo ecologicamente responsável.

Em relação à pavimentação, destaca-se a utilização de pavimentos permeáveis (Figura 4), que desempenham um papel fundamental na regulação hídrica, permitindo o processo de drenagem para controlar a quantidade de água infiltrada no solo. Além de contribuírem para a redução do escoamento superficial, esses pavimentos adicionam um elemento estético à cidade, enriquecendo seu ambiente urbano (Schubert, 2016).

Figura 4 - Pavimento permeável em Freiburg, Alemanha.



Fonte: Herzog e Rosa (2010 *apud* Schubert, 2016).

Outro exemplo de implementação bem-sucedida de infraestrutura verde em uma cidade é a revitalização do córrego Cheonggyecheon, que atravessa Seul, capital da Coreia do Sul. Inicialmente, o córrego era negligenciado e considerado uma área sem valor, utilizada apenas para o despejo de esgoto e resíduos. Buscando dar uma nova utilidade a essa área, o córrego foi canalizado e uma avenida foi construída sobre ele, como ilustrado na Figura 5 (Reis e Silva, 2016).

Figura 5 - Córrego Cheonggyecheon após sua revitalização.



Fonte: Gaete (2017).

Rodrigues *et al.* (2017) conduziram um estudo nos parques urbanos de Goiânia, Goiás, e constataram que esses espaços exercem influência no microclima local. Durante a maior parte do dia, a temperatura média dentro dos parques era inferior à das áreas externas, enquanto a umidade do ar apresentava-se mais elevada. Essas condições térmicas favoráveis contribuem significativamente para o aumento do acesso da população aos parques, seja para a prática de atividades físicas ou para momentos de lazer e contemplação espiritual.

Diante do contexto, canteiros pluviais são essencialmente jardins projetados para gerenciar o escoamento da água da chuva em pequenas áreas urbanas. Além de sua capacidade de absorver água, um canteiro pluvial pode incluir um extravasor para lidar com o excesso de água (Silva, 2017). Em situações em que a infiltração não é possível, o sistema pode depender apenas da evaporação, evapotranspiração e transbordamento. Esses canteiros podem ser integrados a qualquer tipo de construção ou espaço urbano, mesmo em áreas densamente desenvolvidas. Em tais casos, um tubo de descarga direciona a água do telhado para os canteiros, que estão no mesmo nível da calçada como pode ser visto nas Figuras 6 e 7 (Cormier, Pellegrino, 2008 *apud* Silva, 2017).

Figura 6 - Canteiros Pluviais em Portland, Oregon, EUA.



Fonte: Cormier e Pellegrino (2008, p.131 *apud* Silva, 2017).

Figura 7 - Canteiros Pluviais em Portland, Oregon, EUA.



Fonte: Cormier e Pellegrino (2008, p.131 *apud* Silva, 2017).

Já no Mercado New Seasons, em Portland, os canteiros pluviais recebem o escoamento superficial entre a calçada e a rua (Figura 8).

Figura 8 - Canteiros pluviais junto ao New Seasons Market em Portland, Oregon.



Fonte: Cormier e Pellegrino (2008, p.131 *apud* Silva, 2017).

Em 2023, a Prefeitura de Belo Horizonte implantou 60 jardins de chuva na

cidade como forma de prevenir riscos de inundações e alagamentos na bacia dos Córregos do Nado e do Vilarinho (Figura 9), em um investimento de mais de R\$ 760 mil (Belo Horizonte, 2023).

Figura 9 - Jardim de chuva na cidade de Belo Horizonte.



Fonte: Site da Prefeitura de Belo Horizonte.

3.10 Jardim de chuva

Jardins de chuva são sistemas de biorretenção, instalados em cotas mais baixas dos terrenos, onde a drenagem é conduzida para área de jardim com solo preparado com terra, areia de gramatura grossa, britas e drenos, com plantas preferencialmente nativas. Essas plantas ajudam a filtrar poluentes, melhorando a qualidade da água e recarregando o lençol freático. A eficiência do jardim de chuva depende da área de contribuição da bacia hidrográfica, que determina o volume e a qualidade do escoamento recebido (UACDC, 2010).

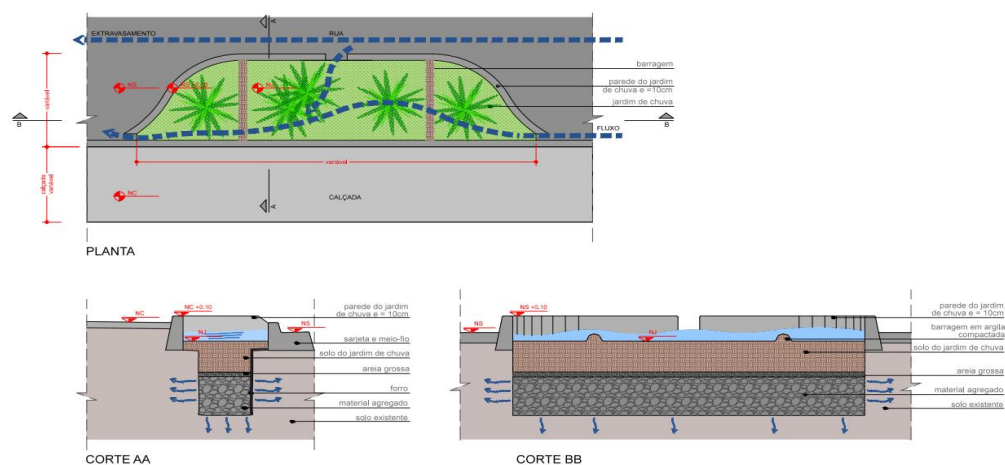
Estudos de simulação computacional mostram que a implantação de jardins de chuva pode reduzir o escoamento superficial em uma bacia hidrográfica entre 11% e 20% durante períodos de chuva. Essas reduções variam conforme fatores como a capacidade de retenção de água dos jardins, a profundidade do solo, a relação entre o tamanho da estrutura e a área de captação, a composição do solo e a intensidade das precipitações (Kaykhosravi et al., 2022; Liu et al., 2022 *apud* Gondim F.; Ohnuma A. A.Jr.; Obraczka M, 2023).

Segundo Wanget al., (2019 *apud* Gondim F.;Ohnuma A. A.Jr.; Obraczka M, 2023), os jardins de chuva com profundidade maior do que 40 cm, razão acima de 20% entre tamanho do jardim e a área de captação e condutividade hidráulica do solo abaixo de 10 cm/h conseguem reter entre 21 e 75% da água da chuva, conforme apresentado com a utilização do modelo numérico “recharge”.

Também é possível utilizar técnicas construtivas para ampliar a capacidade de retenção de um jardim, como a instalação de válvulas de controle de fluxo no tubo de saída da água do jardim, onde é possível fechar para reter mais água ou aliviar quando a retenção não for mais necessária (Guo e Luu, 2015 *apud* Gondim F.;Ohnuma A. A.Jr.; Obraczka M, 2023). Para avaliação da eficiência de um jardim, é importante quantificar a taxa de evapotranspiração do mesmo, porém, por ser uma medida de difícil mensuração, poucos estudos o fazem (Ebrahimian et al., 2019 *apud* Gondim F.;Ohnuma A. A.Jr.; Obraczka M, 2023).

Nem sempre é possível utilizar um jardim de chuva. Eles não devem ser instalados em propriedades com declives acentuados nem em áreas com precipitação insuficiente. Além disso, jardins de chuva não devem ser localizados em áreas com níveis freáticos elevados, em locais poluídos ou acima de sistemas de águas subterrâneas sensíveis, e também não são adequados para áreas naturalmente úmidas, (Barjenbruch e Benefits 2022). A Figura 10, mostra um exemplo de desenho técnico de jardim de chuva, produzido como referência projetual pela Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP (2016).

Figura 10 - Desenho técnico de jardim de chuva.

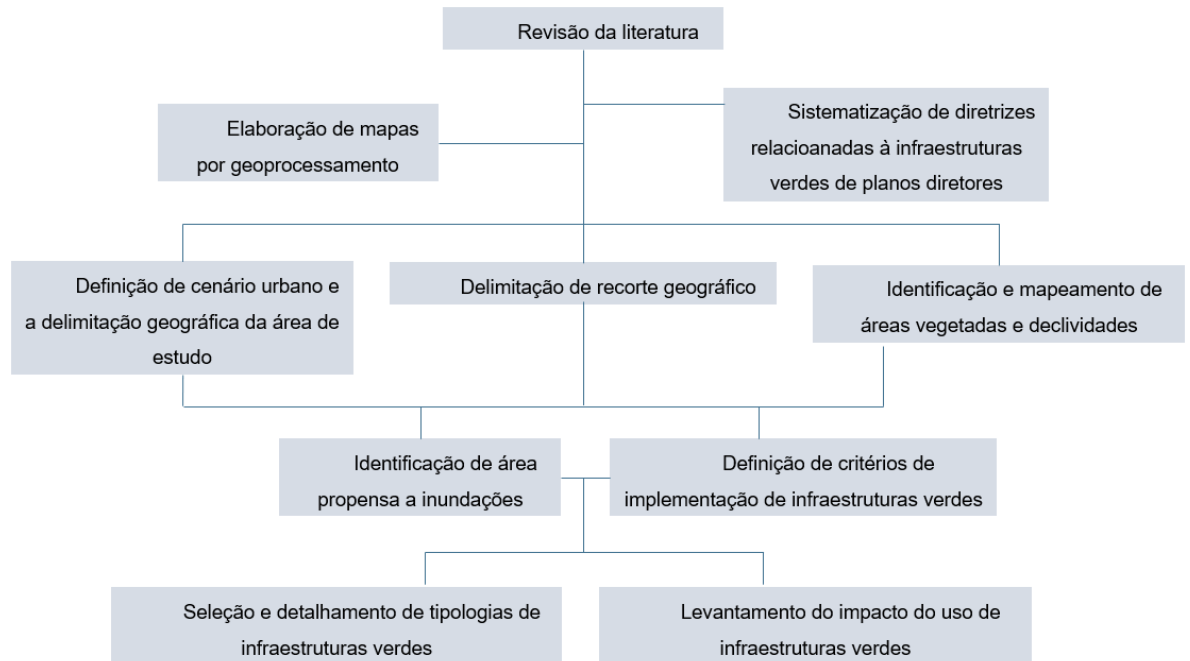


Fonte: ABCP (2016).

4. METODOLOGIA

O processo de estruturação da metodologia da pesquisa teve como referência as metodologias propostas por Herzog (2010) e por Rodrigues, Molina Júnior e Canteras (2023) em suas pesquisas sobre a implantação de infraestruturas verdes. O Esquema 1 evidencia as etapas da metodologia.

Esquema 1. Etapas da metodologia.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Inicialmente, foi definido o cenário urbano e a delimitação geográfica da área de estudo, que demonstra a potencialidade e oportunidade de um espaço territorial delimitado vir a tornar-se objeto de estudo para a temática da infraestrutura verde a partir de revisão na literatura. A escolha da área de estudo contemplou alguns fatores como: a relevância ambiental por ser uma Área de Preservação Ambiental - APA; ter uma UC; sofrer pressão e impactos decorrentes da expansão urbanística.

Em um segundo momento, delimitou-se o recorte geográfico que será trabalhado como objeto empírico da pesquisa. Neste recorte, a partir da compatibilização de mapas e imagens foram levantadas áreas propensas a inundações em regiões de expansão urbana, a fim de sugerir a implantação de tipologias pertinentes ao sistema de infraestrutura verde urbana.

Em paralelo, realizou-se levantamento de referencial bibliográfico, para nortear os estudos e auxiliar nos resultados e discussões. Simultaneamente, o material

cartográfico da área de estudo específica, com dados geoespacializados, foi adquirido dos órgãos públicos responsáveis, como a prefeitura municipal de Tibau do Sul e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Realizou-se o diagnóstico do contexto urbano do local de estudo, que compreende a análise urbano-ambiental do trecho de estudo considerando as diretrizes previstas no Plano Diretor de Tibau do Sul.

Com base no diagnóstico, foi possível realizar a identificação e o mapeamento de áreas vegetadas inseridas na área delimitada, observadas as conexões de espaços naturais e identificadas as possíveis aplicações de tipologias de infraestrutura verde. A execução desta etapa metodológica foi efetuada considerando as imagens do satélite, bem como utilizando SIG para integrar os dados cartográficos, compondo uma base para a tomada de decisões relacionadas à implementação de infraestruturas verdes.

O *software* usado para elaborar os mapas foi o *Quantum GIS* (QGIS). Foram utilizadas imagens do *Google Earth* e do banco de dados do IBGE, escolhidas considerando a sua facilidade de uso, baixa cobertura de nuvens e disponibilidade de acesso. Os mapas de NDVI foram elaborados para verificar se houve supressão ou aumento da vegetação durante os anos. Para a visualização do índice NDVI, no Distrito da Praia da Pipa foi acessada a plataforma *Sentinel Playground* devido à facilidade de acesso às imagens disponíveis pela Agência Espacial Europeia - ESA. O NDVI disponibilizado na plataforma supracitada é gerado a partir do sensor *MultiSpectral Instrument* - MSI presente nos satélites Sentinel-2A e Sentinel-2B, com resolução espacial de 20 m. As bandas utilizadas para a elaboração do mapa no QGIS são as da região do vermelho e infravermelho próximo.

Para a produção do mapa de declividade foram utilizados arquivos vetoriais e *Raster* disponibilizados na plataforma do IBGE e no Topodata. O MDE foi utilizado para determinação das classes de declividade, obtidas a partir da missão *Shuttle Radar Topographic Mission* - SRTM, com resolução espacial de 30 m, a partir de dados distribuídos gratuitamente no *site* (www.dsr.inpe.br/topodata) do Banco de dados Topodata/INPE (Leal, Aquino e Silva, 2019). Após configurar o sistema de coordenadas geográficas e definir o *Datum* WGS84, foi utilizada a carta geográfica do município de Tibau do Sul para realizar o recorte da imagem *Raster* adquirida no Topodata. Em seguida, o mapa de declividade foi reprojetado para o sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator - UTM, fuso 25 sul, onde está localizada a Praia da Pipa. Após isso, o *Raster* foi reclassificado com a ferramenta

r.reclass, onde os valores de declividade foram reclassificados conforme as classes apresentadas na Tabela 1. O mapa foi gerado na banda Simples Cinza, posteriormente para melhor visualização foi renderizado para uma Banda Simples Falsa-Cor (Sá, 2014).

Tabela 1 - Classes de declividade segundo a Embrapa.

Classes de declividade	Declividade (%)
Relevo Plano	0 – 3
Ondulado	3 – 8
Relevo Ondulado	8 – 20
Relevo Forte Ondulado	20 – 45
Relevo Montanhoso	45 – 75
Relevo Escarpado	>75

Fonte: Adaptado de Embrapa (1979).

As etapas citadas englobam a coleta de dados e informações, a interpretação inicial dos elementos que se encontram na paisagem; investigação e organização dos elementos identificados e a sistematização das informações obtidas. Em paralelo realizou-se sistematização de diretrizes citadas em planos diretores que se relacionam direta e indiretamente com as infraestruturas verdes no Brasil, além de leitura do plano diretor de Tibau do Sul, para identificar se há menção de tipologias de infraestruturas verdes neste documento.

A partir das etapas anteriores, foi possível determinar as diretrizes para a implantação de sistema de infraestrutura verde na malha urbana delimitada. Esse processo teve como embasamento as funções socioculturais e ecológicas que o sistema de infraestrutura verde pôde oferecer para a área de estudo, que se caracteriza pela contribuição que as áreas naturais (espaços livres públicos, APPs e UCs) oferecem à sociedade. O resultado almejado tem como foco a melhoria da qualidade de vida e os serviços ambientais. Por fim, foram definidas diretrizes para a implementação do sistema de infraestrutura verde viáveis no local de estudo.

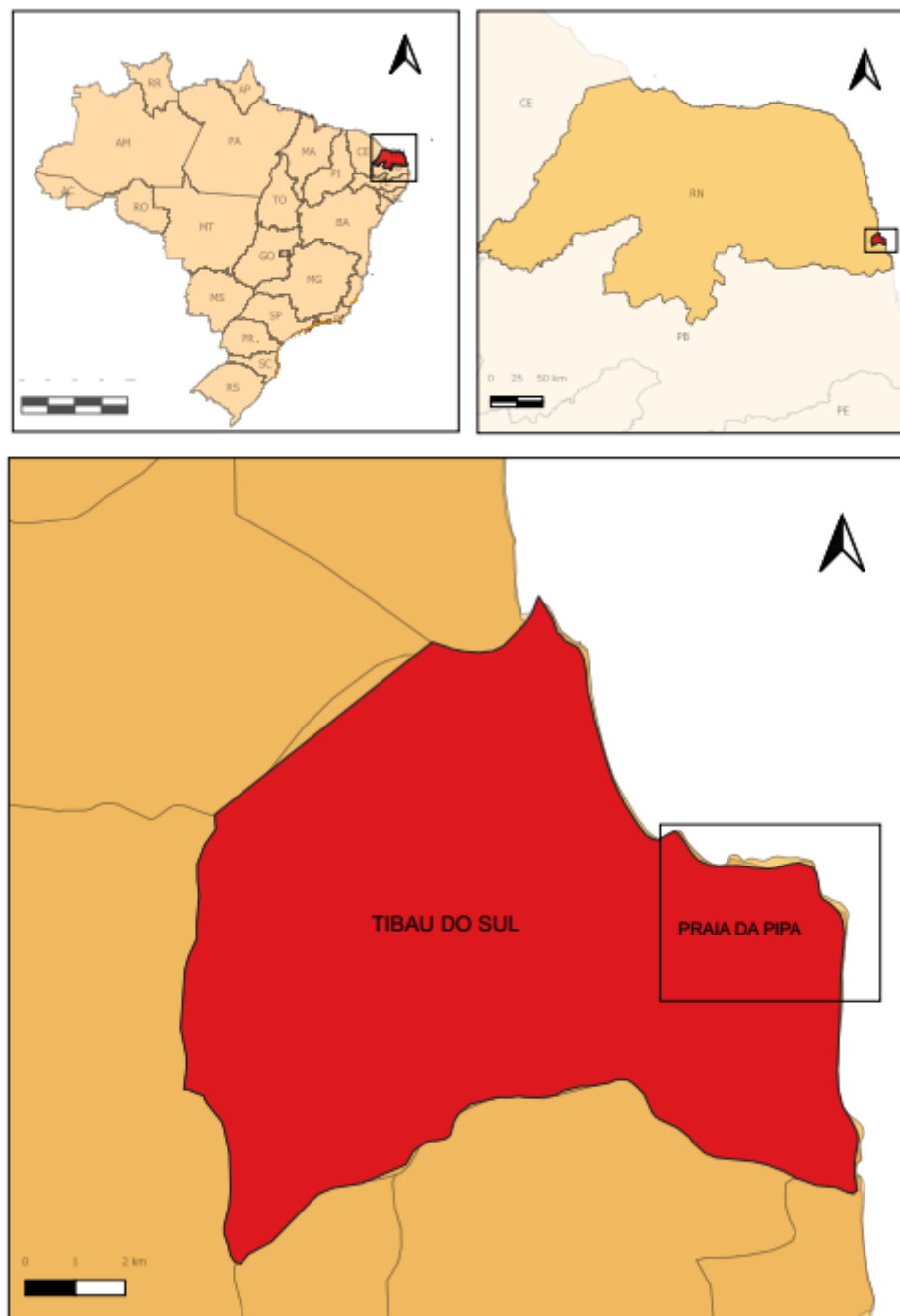
4.1 Área de estudo

A Praia da Pipa (coordenadas geográficas 6°11'11" S 35°05'23" W), indicada na Figura 11, possui cerca de 10.000 habitantes e é um distrito do município de Tibau do Sul, uma cidade turística do Rio Grande do Norte, localizada na região Nordeste

do Brasil. A área em que está inserida é caracterizada por um trecho oceânico e outro lagunar, além da ocorrência de planícies formadas por sedimentos terciários e quaternários depositados predominantemente em ambientes marinhos, continentais ou transicionais.

Figura 11 - Localização do Distrito da Praia da Pipa.

MAPA DE LOCALIZAÇÃO TIBAU DO SUL/PRAIA DA PIPA-RN

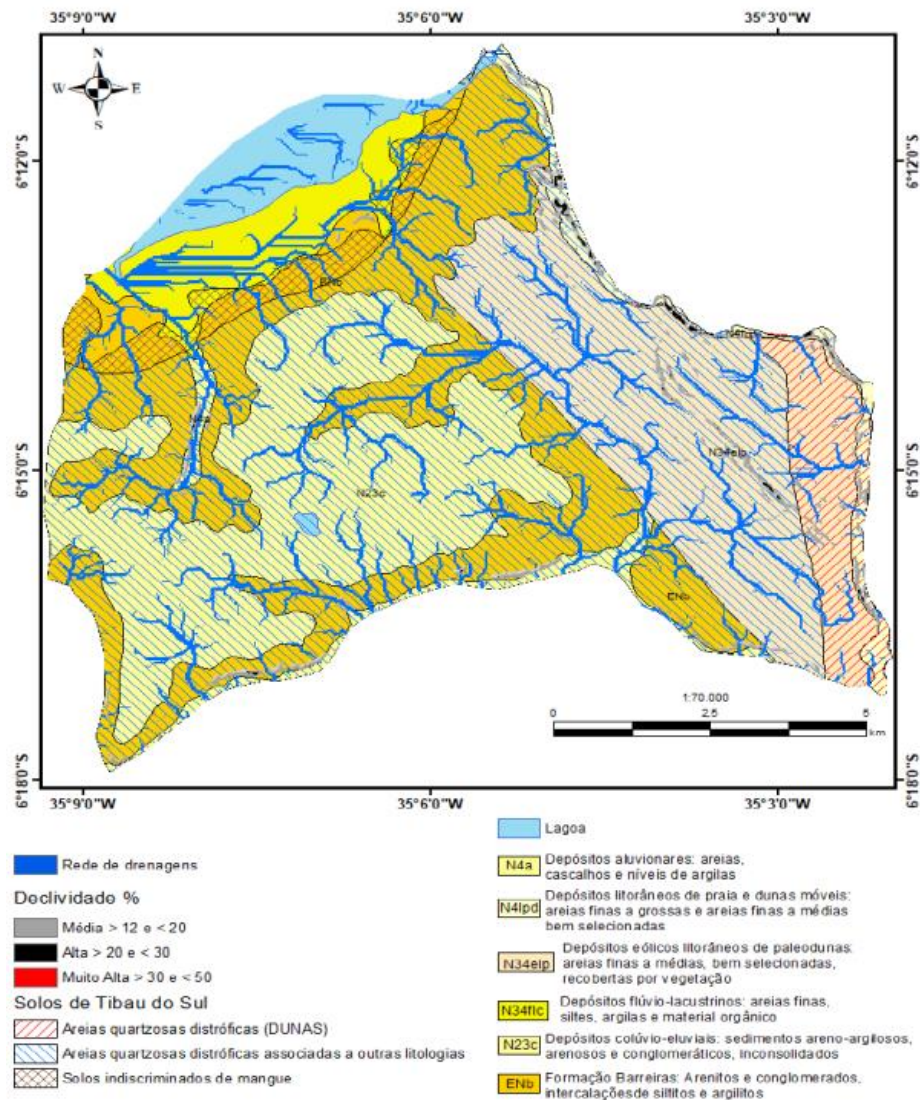


Fonte: Autoria própria, 2024.

Os principais fatores que influenciam na caracterização climática da área estão relacionados à sua localização geográfica. O clima da região caracteriza-se como subúmido, com uma temperatura média anual de 26°C e uma umidade relativa anual de 74%. Os meses de maior pluviosidade são abril e julho (Silva e Oliveira, 2013).

O município de Tibau do Sul está inserido na Bacia hidrográfica do Rio Jacú, que abrange partes dos estados do Rio Grande do Norte (RN) e da Paraíba (PB). Esta Bacia Federal ocupa uma área de 1.805 km², com uma vazão média de 1,26 m³/s, e serve uma população de aproximadamente 117.000 habitantes (Araújo *et al.*, 2019). Utilizando técnicas de geoprocessamento Teixeira (2019) elaborou mapa de escoamento no município de Tibau do Sul, Figura 12, com objetivo de definir mapear o comportamento do escoamento das águas superficiais. A topografia da região, com áreas de encosta e planícies, influencia o escoamento da água. Nas encostas, a água tende a escoar mais rapidamente, enquanto nas planícies, pode ocorrer acumulação de água, especialmente em períodos de chuvas intensas (Teixeira, 2019).

Figura 12 – Mapa de escoamento no município de Tibau do Sul no Rio Grande do Norte, Brasil.



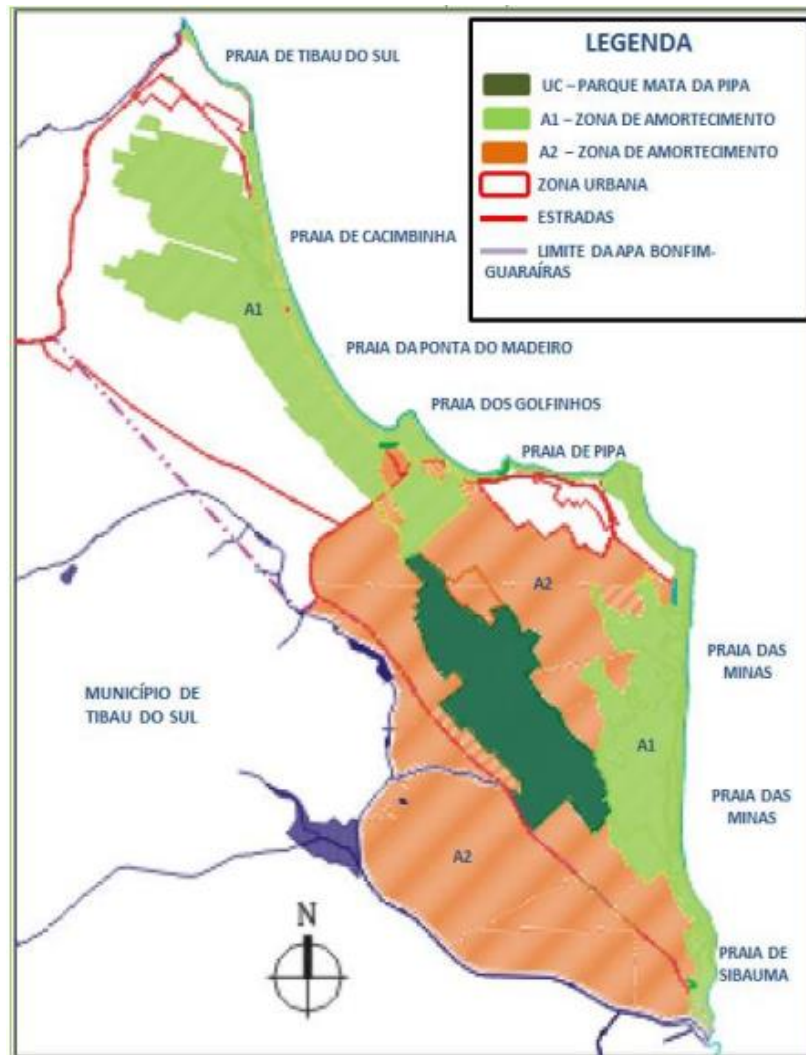
Fonte: Teixeira (2019).

A Praia da Pipa é uma Área de Proteção Ambiental - APA chamada APA Bonfim-Guaraíras, desde 1999, o que influencia diretamente na regularização do zoneamento urbano do distrito. Segundo Pierri (2008), a região apresenta áreas com cobertura de vegetação nativa primária ou em estágio regenerativo; vegetação de dunas (gramíneas, vegetação incipiente próxima à praia); vegetação de restinga (arbustiva de pequeno porte, recobrindo o tabuleiro costeiro ou as dunas recuadas) e vegetação de mata atlântica em diferentes estágios (arbustiva de médio e grande porte, recobrindo o tabuleiro costeiro, porções de ante-duna e ciliares em canais fluviais). Em relação aos recursos hídricos, o município de Tibau do Sul possui 44,28% de seu território inserido nos domínios da bacia hidrográfica do rio Catú, 36,6% nos

domínios da bacia do rio Jacú e 19,12% nos domínios da faixa litorânea leste, de escoamento difuso. O principal corpo de acumulação de águas é a Lagoa Guaraíra (CPRM/PRODEEM, 2005).

O Plano de Manejo e Zoneamento Ecológico Econômico do Parque Estadual Mata da Pipa - PEMP (2014 *apud* Lucena, 1999), discorre sobre a região, evidenciando que esta situa-se no contexto dos vales úmidos, definição e caracterização adotadas para a faixa costeira oriental do Rio Grande do Norte, entre o vale do Rio Ceará Mirim e a fronteira com a Paraíba. A designação de vales úmidos deve-se à alta pluviometria (1.200 – 1.500 mm/ano), ocorrência de formações sedimentares de elevada capacidade de infiltração e armazenamento d'água, rios perenizados e grande número de lagoas. Fatores como a alta pluviometria e relevo predominantemente plano a suavemente ondulado, e elevadas taxas de infiltração e armazenamento d'água nas formações rochosas determinam as características da hidrologia local. Por isso, na região há a ocorrência de importantes reservas hídricas subterrâneas, a perenização de rios (caracterizada pelo índice pluviométrico relativamente elevado e contribuições subterrâneas) e um considerável número de lagoas presentes nos tabuleiros costeiros ou em vales interdunares. O PEMP (2014) delimita a Zona de Amortecimento do Parque Estadual Mata da Pipa foi subdividida nas áreas 1 e 2, Figura 12.

Figura 12 - Unidade de Conservação da Natureza Parque Estadual Mata da Pipa e sua respectiva Zona de Amortecimento (A1 e A2).



Fonte: Idema (2006 *apud* PEMP, 2014).

4.2 Seleção de tipologias de infraestruturas verdes

A escolha das tipologias de infraestruturas verdes foi baseada no Guia de Implementação de Infraestrutura Verde (IPT, 2020), projetado para identificar e priorizar áreas com os maiores déficits em funções ambientais e oferecer uma variedade de tipologias de infraestrutura verde para implementação em áreas urbanas. O referido Guia apresenta uma matriz (Tabela 2) que correlaciona as tipologias, agrupadas de acordo com as escalas de aplicação (regional, local e privada), com os serviços ambientais fornecidos em uma escala de avaliação, onde ‘-’ significa nenhum potencial ou não aplicável; ‘+’ significa menor potencial; e ‘++’ significa maior potencial.

Tabela 2 - Matriz de correlação entre infraestruturas verdes e serviços ambientais.

TipIV SAmb	x	ManVH	MitEvHEx	MQA	REflCalor	ManHab	ManDGen	RecSFM	DimVS	MelQAr
Lagoa de águas pluviais / Bacias de retenção		++	++	++	+	-	-	+	+	++
Alagado Construído / <i>Wetland</i>		++	++	++	+	-	-	+	-	+
Bioengenha ria de solos		++	++	++	+	-	-	+	-	+
Pavimentaç ão permeável		++	++	++	+	-	-	-	-	-
Ruas verdes / Caminhos verdes		+	+	++	++	+	++	+	+	+
Lagos seca		++	+	++	+	-	-	+	+	+
Biovaleta		++	+	++	+	-	-	+	-	+
Vias de uso múltiplo / Ruas completas		+	+	+	++	+	+	++	+	-

Jardins de chuva	++	+	+	+	-	-	+	-	+
Agricultura urbana/Hortas comunitárias	+	+	+	+	-	-	++	+	+
Canteiro pluvial	+	+	+	+	-	-	+	+	+
Interseção viária	+	+	+	+	-	-	+	-	+

Legenda: TipIV = Tipologias de infraestruturas verdes | SAmb = Serviços ambientais | ManVH = Manutenção da vazão hídrica | MitEvHEx = Mitigação de Eventos Hídricos Extremos | MQAg = Melhoria da Qualidade da Água | REflCalor = Redução dos Efeitos das Ilhas de Calor | ManHab = Manutenção de Habitat | ManDGen = Manutenção da Diversidade Genética (Fluxo Gênico) | RecSFM = Recreação, Saúde Física e Mental | DimVS = Diminuição da Vulnerabilidade Social | MelQAr = Melhoria da Qualidade do Ar.

Fonte: Adaptado do IPT (2020).

A escala de potencial foi baseada no estudo publicado por Brandão e Crespo (2016 *apud* Rodrigues, Molina Júnior e Canteras, 2023), que cataloga várias tipologias de infraestrutura verde e descreve os benefícios de cada uma, classificando a relação como “benefício assegurado”, “benefício potencial” e “indiferente a esse benefício”. Com base nos problemas atuais do distrito da Praia da Pipa, foi estabelecida uma relação entre os serviços ambientais da matriz e os riscos a serem mitigados na Praia da Pipa. Com base nessa matriz, foi realizada uma análise da viabilidade de aplicação de cada uma das tipologias de infraestrutura verde no local de estudo, considerando as características locais e pontos ambientalmente críticos. No estudo de Rodrigues, Molina Júnior e Canteras (2023), observou-se que as 12 tipologias de infraestruturas verdes selecionadas apresentam algum potencial de aplicação para fornecer os serviços ambientais necessários. Os autores escolheram analisar mais detalhadamente as tipologias com pontuação mínima de cinco, procurando aquelas que poderiam contribuir de forma mais eficaz para mitigar impactos relacionados ao aquecimento global, considerado como o maior desafio no seu local de estudo.

Diante dos problemas atuais e futuros do distrito da Praia da Pipa, foi estabelecida uma relação entre os serviços ambientais da matriz e os riscos a serem mitigados e adaptados no distrito. Dessa forma, os desafios relacionados à expansão urbana que impactam os recursos hídricos, como a falta de drenagem urbana e erosões decorrentes de escoamentos superficiais foram relacionados aos serviços ambientais de manutenção do fluxo de água e melhoria da qualidade da água.

Nesse contexto, após escolha das tipologias foram realizadas análises detalhadas de cada uma delas. A escolha das tipologias de infraestruturas verdes neste estudo foi realizada de acordo com àquelas que foram classificadas como de maior potencial para os serviços ambientais mais necessários no Distrito, essa última avaliação foi feita a partir das referências bibliográficas em relação aos desafios ambientais que o local de estudo enfrenta.

4.3 Critérios para implementação de infraestruturas verdes

A adoção de critérios para a implementação de infraestrutura verde foi baseada no trabalho de Rodrigues, Molina Júnior e Canteras (2023). De acordo com os autores, a escolha de aplicar uma infraestrutura verde específica pode se basear em vários critérios, levando em consideração fatores ambientais, sociais, econômicos e de governança. Esses critérios podem variar dependendo do contexto específico e dos

objetivos da infraestrutura verde, mas fornecem uma base para avaliar e selecionar a aplicação mais apropriada. Ressalta-se que é importante adotar uma abordagem holística, considerando todos os aspectos relevantes e buscando um equilíbrio entre diferentes critérios. A escolha da localização e o *layout* da infraestrutura verde considerou os aspectos físicos e de infraestrutura do distrito de estudo, como: tamanho e uso das ruas existentes; local de áreas públicas; inclinação; sistema de drenagem atual; contribuição de microbacias; tráfego; e requisitos básicos de *design* das soluções selecionadas.

O Guia apresentado pelo IPT (2020) também foi fonte para a adoção de critérios, uma vez que o mesmo indica que uma das maneiras possíveis para fazer esse planejamento de implementação de infraestrutura verde é a utilização de indicadores ambientais que representem a realidade atual e reflitam as potencialidades, fragilidades, acertos e conflitos a serem enfrentados pelos gestores. O Guia descreve o processamento adotado para o cálculo de cada indicador sistematizado em fichas descritivas dos indicadores. Além da forma de obtenção dos dados e do cálculo do indicador, as fichas mostram a relação com os ODS.

4.4 Impacto do uso de infraestruturas verdes

Foi realizada pesquisa exploratória com base nas referências bibliográficas sobre a infraestrutura verde, com o objetivo de encontrar e destacar casos implementados que geram serviços ambientais, tanto em âmbito internacional, quanto em localidades no Brasil. A partir da análise desta pesquisa e dos serviços ambientais que as infraestruturas verdes levantados na revisão bibliográfica, foi feita uma correlação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis da Agenda 2030, a fim de se observar os possíveis impactos do uso desta tecnologia nas cidades.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Diagnóstico da área

A falta de um sistema de drenagem no Distrito da Praia da Pipa traz graves consequências para a população local e em períodos chuvosos, observa-se que diversas vias ficam alagadas. Os frequentes alagamentos interferem no cotidiano do Distrito, afetando o tráfego e os deslocamentos dos pedestres, além de estarem diretamente relacionados à proliferação de doenças, à erosão do solo e à poluição de cursos hídricos (Silva *et al.*, 2023). O Anexo A, contém o relatório da estação

pluviométrica, localizada no município de Tibau do Sul, com dados dos últimos três anos. Observa-se que as precipitações médias nos meses de abril a agosto ultrapassam 200 mm, corroborando com os frequentes alagamentos nestes períodos. As Figuras 13 e 14 mostram cenas de alagamento em diferentes locais da Praia da Pipa.

Figura 13 - Rua dos Pássaros, dia posterior à noite chuvosa.



Fonte: Própria autora, 2024.

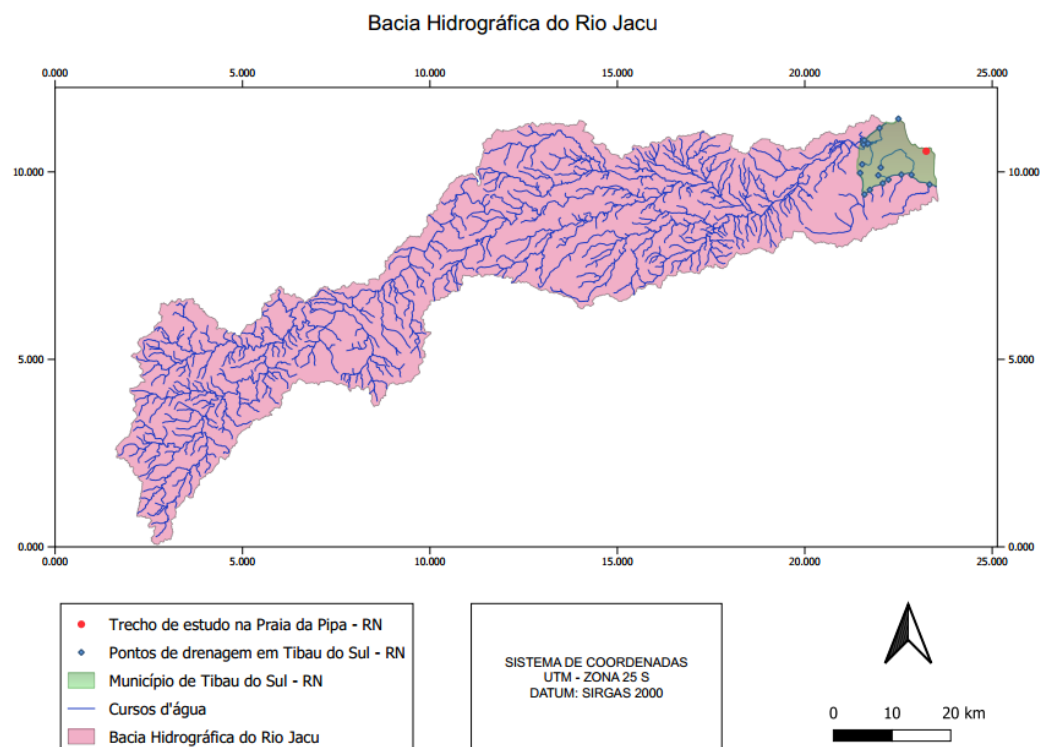
Figura 14: Rua das Pedrinhas, após forte chuva.



Fonte: Própria autora, 2024.

O município de Tibau do Sul está inserido na Bacia Hidrográfica Federal do Rio Jacu, pode-se observar no Mapa, Figura 15, que no Município de Tibau do Sul há poucos pontos de drenagem do Rio Jacu. No entanto, Tibau do Sul também está próxima de outras importantes bacias e corpos d'água, como a Lagoa de Guaraíras, que é uma lagoa estuarina e desempenha um papel crucial na drenagem da região (Araújo *et al.*, 2019).

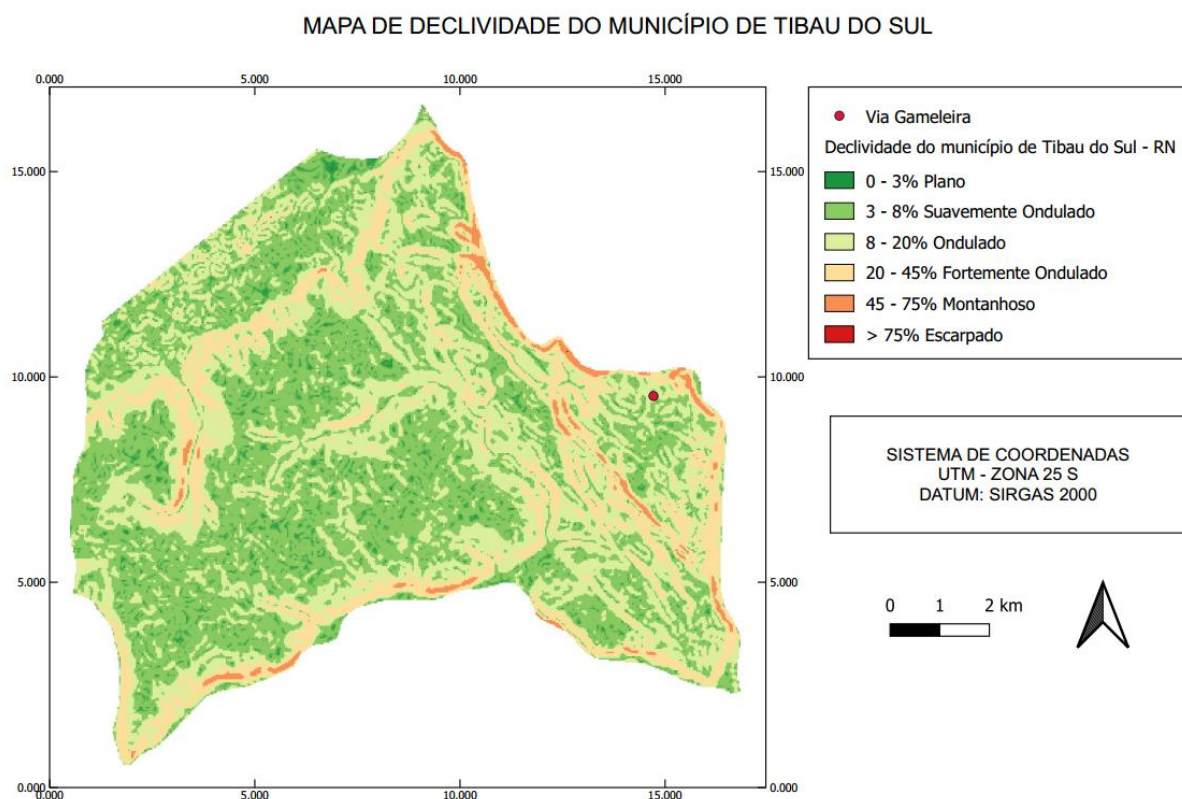
Figura 15 - Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Jacu



Fonte: Autoria própria, 2024.

Para escolha de localidade a ser implementada infraestrutura verde foi elaborado mapa de declividade do município de Tibau do Sul (Figura 15).

Figura 15 - Mapa de declividade do município de Tibau do Sul.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Ao analisar o mapa de declividade (Figura 14) nota-se que áreas planas, suavemente onduladas são preponderantes e aparecem de forma intercaladas, o que pode ocasionar a ocorrência de inundações devido ao escoamento superficial das águas pluviais. A Tabela 3 mostra as áreas em relação a cada classe representada no mapa de declividade, ressaltando que a área hídrica do lago não foi considerada nesta tabela.

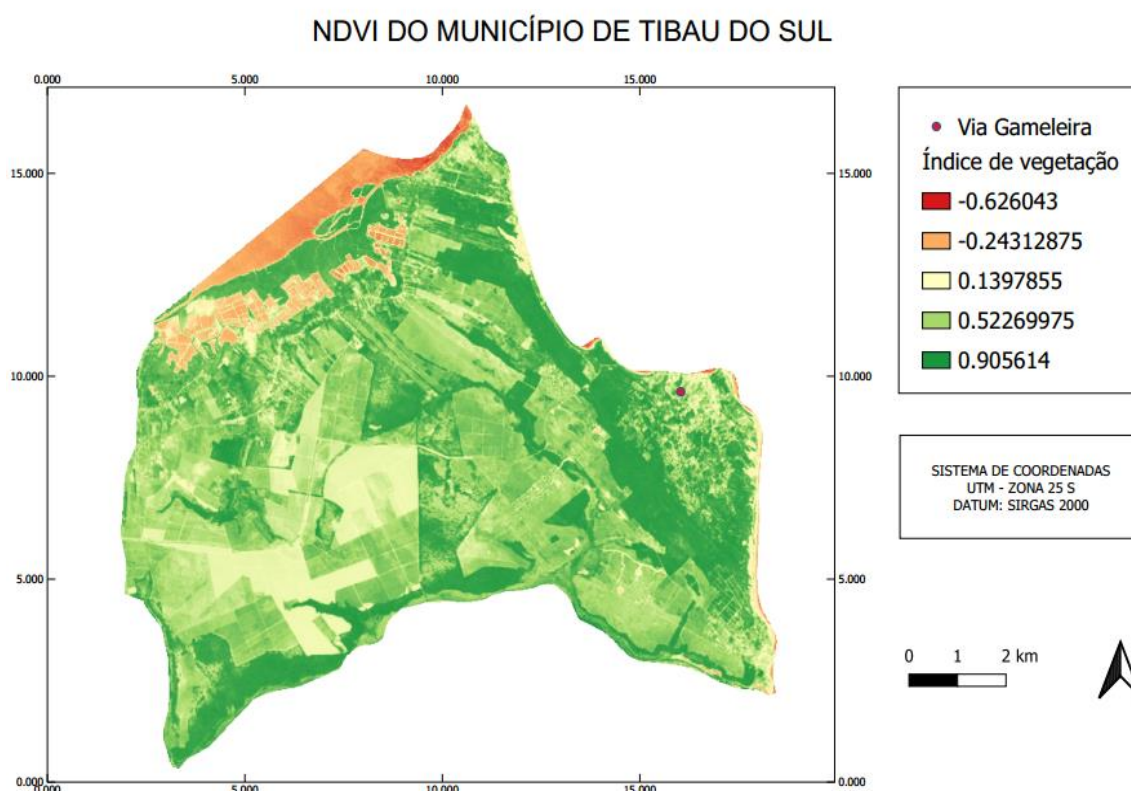
Tabela 3 - Áreas em Km² por classe.

Declividade	Área em Km ²
0 - 3% Plano	38,30
3 - 8% Suavemente Ondulado	37,05
8 - 20% Fortemente Ondulado	14,93
20 - 45% Montanhoso	1,68
45 - 75%	0,00094
> 75% Escarpado	0

Fonte: Autoria própria, 2024.

A partir da análise do mapa NDVI (Figura 16) foi possível observar as áreas com alta densidade de vegetação que são as áreas de cor verde escura, sendo essas áreas permeáveis, uma vez que o NDVI expõe a condição da vegetação por imagens de satélite, sendo possível utilizar o índice como um dos instrumentos para o diagnóstico da área de estudo desta pesquisa. A via Gameleira encontra-se em áreas amarelas claras, com NDVI acima de 1.

Figura 16 - NDVI referente ao dia 20/05/2024 (Tibau do Sul - RN).



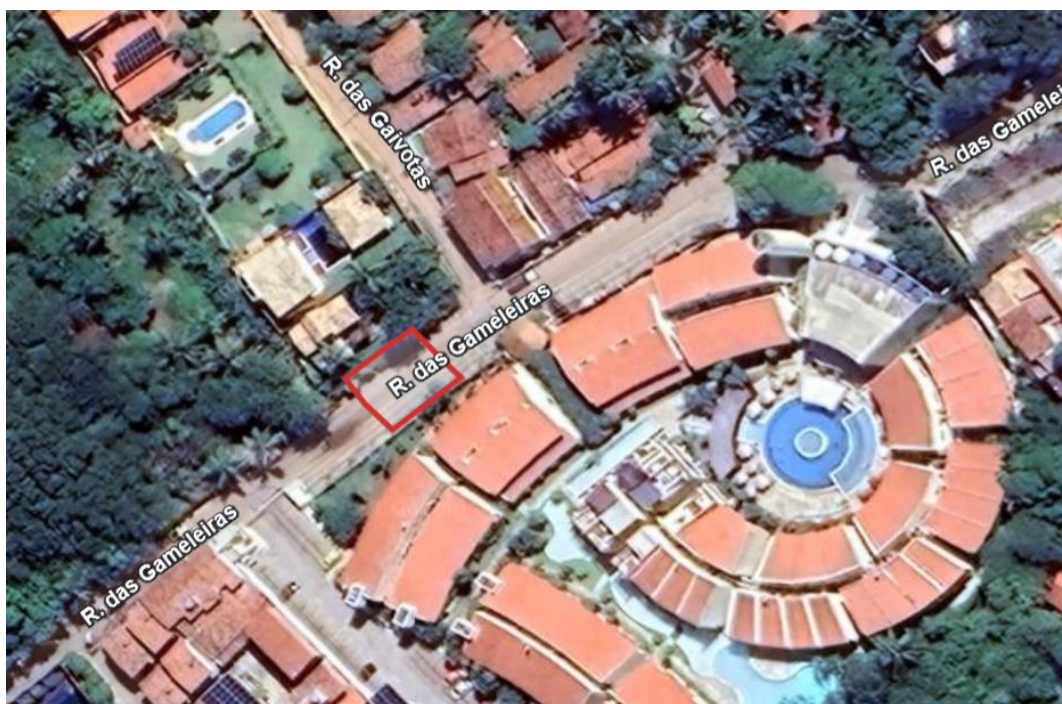
Fonte: Autoria própria, 2024.

Considerou-se a declividade e a expansão urbana como fatores principais para identificar as vias com maior probabilidade de inundação. Através do programa Autocad (2024), realizou-se uma compatibilização aproximada entre o mapa de declividade, o mapa de expansão urbana e imagem do *Google Earth* do território da Praia da Pipa, para encontrar áreas planas passíveis de inundações, que estariam dentro do zoneamento elaborado por Teixeira (2019). Com base nas áreas observadas e na investigação em campo de inundações na região de estudo, delimitou-se o recorte geográfico trabalhado como objeto empírico da pesquisa. Para compatibilização utilizou-se o programa AutoCAD, em que se fez uma sobreposição

nas Figuras 1, 14 e 15, a fim de encontrar local nas zonas urbanizadas possíveis de alagamento, esta escolha também foi apoiada pela observação de áreas *in loco*.

Assim, chegou-se em trecho na Rua das Gameleiras, local em que ocorrem alagamentos com frequência, além de ser uma via muito utilizada pelos moradores e turistas, pois é uma rua de entrada no Distrito que dá acesso ao centro e as principais vias da Praia da Pipa. A Rua das Gameleiras é uma via principal na região de Pipa, e sua extensão é de, aproximadamente, 1,5 km, estendendo-se desde a área central da Praia da Pipa até áreas próximas à praia e outros pontos de interesse comercial na região. A rua possui declividade plana, com intenso processo de urbanização nos últimos 10 anos, sujeita a processos de alagamento em decorrência da falta de drenagem e do tipo de pavimento que é impermeável. Por isso foi selecionada, considerando sua localização, aspectos técnicos e práticos que permitem a possível implementação de tipologias de infraestruturas verdes, que serão analisadas no decorrer deste estudo. A Figura 17 indica trecho crítico, devido à frequentes alagamentos e Figura 18 exibe este ponto em na imagem extraída do *Google Maps*, *street view*, sem alagamento.

Figura 17 - Trecho crítico de alagamento na Rua das Gameleiras.



Fonte: Adaptado de *Google Earth*, 2024.

Figura 18 - Ponto de alagamento em período sem ocorrência de chuva.



Fonte: *Google Maps, street view*, imagem de outubro de 2023.

A Praia da Pipa possui um sistema de drenagem natural que é, principalmente, influenciado pela topografia do local e pelas características do solo (Amorim e Maia, 2021). Devido à inclinação natural do terreno em direção ao mar, a água da chuva e as águas pluviais tendem a fluir em direção às áreas mais baixas e para o oceano. Em relação ao Zoneamento Ecológico Econômico do PEMP (2014), a Rua das Gameleiras se encontra na área urbanizada. As Figuras 19 a 22, mostram o trecho selecionado no dia 11 de abril de 2024, após chuva de 20 a 30 mm (INMET, 2024).

Figura 19 - Trecho objeto de estudo, Rua das Gameleiras, data: 11/04/2024.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 20 - Trecho objeto de estudo, via das Gameleiras, data: 11/04/2024.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 21 - Trecho objeto de estudo, Rua das Gameleiras, data:11/04/2024.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 22 - Trecho objeto de estudo, Rua das Gameleiras, data: 11/04/2024.



Fonte: Autoria própria, 2024.

5.2 Matriz de infraestrutura verde

Após análise do diagnóstico da área de estudo e escolha do trecho objeto de estudo desta pesquisa, foi realizada a análise da matriz apresentada na Tabela 2, para assim sugerir possíveis tipologias de infraestruturas verdes a serem implantadas no local de estudo.

O guia apresenta uma matriz que correlaciona as tipologias, agrupadas de acordo com as escalas de aplicação (regional, local e privada), com os serviços ambientais fornecidos em uma escala de avaliação, onde '-' significa nenhum potencial ou não aplicável; '+' significa menor potencial; e '++' significa maior potencial.

Diante do contexto, a escala selecionada foi a local devido ao recorte geográfico realizado. A partir da revisão bibliográfica e das informações levantadas entendeu-se que os serviços ambientais avaliados na região deveriam ser fundamentados na manutenção da vazão hídrica; mitigação de eventos hídricos extremo; melhoria da qualidade da água; e redução dos efeitos das ilhas de calor, uma vez que esses se relacionam com principais desafios de infraestrutura da Praia da Pipa, que é a falta da rede de drenagem, qualidade da água consumida pela população, as mudanças climáticas e o alto índice de pluviosidade. O Tabela 4 é um recorte da Tabela 2, e mostra como a matriz correlaciona esses serviços ambientais e as tipologias de infraestrutura verde.

Tabela 4 - Recorte da matriz de correlação - infraestruturas verdes e serviços ambientais.

TipIV x SAmb	ManVH	MitEvHEX	MQA	REfICalor
Lagoa de águas pluviais / Bacias de retenção	++	++	++	+
Alagado Construído / Wetland	++	++	++	+
Bioengenharia de solos	++	++	++	+
Pavimentação permeável	++	++	++	+
Ruas verdes / Caminhos verdes	+	+	++	++
Lagoas seca	++	+	++	+
Biovaleta	++	+	++	+
Vias de uso múltiplo / Ruas completas	+	+	+	++
Jardins de chuva	++	+	+	+
Agricultura urbana / Hortas comunitárias	+	+	+	+
Canteiro pluvial	+	+	+	+
Interseção viária	+	+	+	+

Legenda: TipIV = Tipologias de infraestruturas verdes | SAmb = Serviços ambientais | ManVH = Manutenção da vazão hídrica | MitEvHEX = Mitigação de Eventos Hídricos Extremos | MQAg = Melhoria da Qualidade da Água | REfICalor = Redução dos Efeitos da Ilhas de Calor.

Fonte: Adaptado do IPT (2020).

Para a seleção das tipologias de infraestruturas verdes a serem implementadas na região optou-se por indicar aquelas com que foram classificadas com maior potencial ‘++’ em relação aos serviços ambientais escolhidos. O Quadro 5 mostra as tipologias selecionadas e traz um detalhamento de cada uma delas de acordo com o Guia do IPT (2020) e referência bibliográfica desta pesquisa.

Quadro 5a - Detalhamento das infraestruturas verdes selecionadas.

Tipologias de infraestrutura verde de maior potencial.	Descrição	Vantagens	Aplicação	Limitações
Lagoa de águas pluviais / Bacias de retenção	Depressão vegetada que recebe as águas das chuvas contribuindo para diminuir o escoamento superficial, retardando a entrada das águas no sistema de drenagem e possibilitando a infiltração com a recarga de aquíferos	Redução do escoamento superficial; A lagoa quando seca, possibilita o uso para recreação.	Vias urbanas; Rios; Parques lineares; Jardins públicos e privados.	Espaço disponível; Possível alteração de <i>habitats</i> locais; Custo de construção e manutenção.
Alagado Construído / <i>Wetland</i>	Superfície vegetada coberta por água formada por: zona de entrada (bacia de sedimentação para remover sedimentos grossos e médios); zona macrófita (área rasa com vegetação para remover partículas finas e poluentes solúveis); e canal de <i>bypass</i> (alto fluxo para proteger a zona de macrófitas).	Purificação das águas pluviais; Promoção da retenção/remoção de contaminantes.	Ambientes urbanos	Espaço disponível; Possível alteração de <i>habitats</i> locais; Custo de construção e manutenção.
Bioengenharia de solos	Tecnologia utilizada para estabilizar e/ou recompor ambientes em diferentes contextos de degradação, encostas e ambientes fluviais, combinando vegetação com materiais inertes, com ganhos ecológicos, estéticos e econômicos.	Aumento da estabilidade de encosta; Melhoria do regime hídrico do solo; Criação e provisão de <i>habitats</i> .	Taludes, encostas e ambientes fluviais degradados	Necessidade de obra especializada; Limitação no período de dormência das sementes; Disponibilidade de espécies adaptadas às condições locais.

Quadro 5b - Detalhamento das infraestruturas verdes selecionadas.

Tipologias de infraestrutura verde de maior potencial.	Descrição	Vantagens	Aplicação	Limitações
Pavimentação permeável	Pavimentos que permitem a infiltração da água das chuvas por não possuir agregados miúdos em sua composição.	Redução do escoamento superficial; Recarga do lençol freático; Filtragem de poluentes; Redução de acúmulo de água da chuva.	Calçadas; Estacionamentos; Quintais residenciais; Espaços públicos de lazer.	Risco de contaminar o lençol freático; Custo de construção e manutenção.
Ruas verdes / Caminhos verdes	Ruas arborizadas que integram o manejo das águas pluviais compostas por canteiros pluviais; circulação viária mais restrita; tem como foco pedestres e ciclistas e sem circulação de veículos pesados.	Conexão para avifauna/microfauna; Amenização do clima; Limitação do tráfego de veículos pesados; Redução da carga difusa.	Vias das cidades.	Necessidade de calçada com espaço adequado para plantio de árvores.
Jardins de chuva	Formas de crescimento e desenvolvimento da vegetação em uma superfície vertical, podendo ser plantada diretamente no solo, em jardineiras ou em outras estruturas de suporte.	Controle de enchentes; Melhoria do conforto térmico; Melhoria da qualidade da água; Aumento da permeabilidade do solo; Conforto estético.	Residências; Parques e áreas recreativas; Estacionamentos e áreas pavimentadas; Margens de estradas e rodovias; Áreas industriais e comerciais.	Se mal empregada, pode gerar infiltrações e acúmulos de água.

Quadro 5c - Detalhamento das infraestruturas verdes selecionadas.

Tipologias de infraestrutura verde de maior potencial.	Descrição	Vantagens	Aplicação	Limitações
Vias de uso múltiplo / Ruas completas	Vias que conciliam a arborização urbana com diversos usos: veículos, pedestres, ciclovias; paradas de ônibus; mobiliário urbano; bancos, áreas com mesas de bares e restaurantes, bancas de jornal e telefones públicos.	Conciliação de diversos usos de deslocamento, para veículos, pedestres e ciclovias seguras.	Vias das cidades.	Espaço disponível; Desafios de design; Custos; Resistência da comunidade; Possível necessidade de alteração da legislação e regulamentação.
Lagoa seca	Depressão vegetada que recebe as águas das chuvas contribuindo para diminuir o escoamento superficial, retardando a entrada das águas no sistema de drenagem e possibilitando a infiltração com a recarga de aquíferos	Redução do escoamento superficial; Quando seca, possibilita o uso para recreação.	Vias urbanas; Parques lineares; Jardins públicos e privados.	Espaço disponível; Possível alteração de habitats locais; Custo de construção e manutenção.
Biovaleta	Depressões lineares preenchidas com vegetação, solo e elementos filtrantes para promover a filtração de poluentes e a infiltração da água, podendo ou não direcionar a água para um outro sistema como o jardim de chuva.	Redução do escoamento superficial; Exposição do lençol freático; Elemento estético.	Vias urbanas próximas ao meio fio; Estacionamentos	Não recomendada para áreas densamente urbanizadas.

Fonte: Autoria própria com base no Guia IPT (2020), 2024.

5.3 Aplicação de infraestrutura verde no objeto de estudo

Baseado em critérios que consideram fatores ambientais, sociais, econômicos e de governança (Quadro 6), a partir do diagnóstico e revisão bibliográfica, foram identificadas a infraestruturas que seriam viáveis a aplicar no trecho da via selecionado no diagnóstico da área.

Quadro 6a. Fatores ambientais, sociais, econômicos e de governança relacionados às tipologias de infraestruturas verdes citadas nas Tabela 4.

Tipologias de Infraestrutura verde	Fatores Ambientais	Fatores Sociais	Fatores Econômicos	Fatores de Governança
Lagoa de águas pluviais / Bacias de retenção	Gestão das água em que há necessidade de planejamento para garantir eficácia na retenção de águas pluviais; Riscos de contaminação de água se não forem corretamente projetadas e mantidas.	Dificuldade em destinar áreas urbanas para essas infraestruturas; Resistência da comunidade pode levar à implementação de técnicas novas e não convencionais.	Alto custo de escavação e construção; Dificuldade em calcular o retorno financeiro direto.	Políticas de uso do solo, regulações que permitam a destinação de áreas urbanas para esse fim; Coordenação interinstitucional.
Alagado Construído / <i>Wetland</i>	Manutenção da biodiversidade; Adaptação a diferentes condições climáticas pode ser um desafio.	Educação ambiental; Acesso público que garanta que a comunidade tenha acesso e possa usufruir dessas áreas de forma segura.	Alto custo inicial para a criação de áreas alagadas construídas; Dificuldade em quantificar os benefícios econômicos a longo prazo.	Regras claras que incentivem a criação e manutenção de wetlands; Inclusão de wetlands nos planos diretores das cidades.
Bioengenharia de solos	Técnicas devem ser eficazes na prevenção e controle da erosão do solo.	Educação ambiental; Acesso público que garanta que a comunidade tenha acesso e possa usufruir dessas áreas de forma segura.	Investimento inicial pode ser elevado e custos com manutenção contínua para garantir a eficácia das técnicas implementadas.	Definição de normas e regulamentos que incentivem o uso da bioengenharia. Apoio governamental e institucional para promover a bioengenharia.

Quadro 6b. Fatores ambientais, sociais, econômicos e de governança relacionados às tipologias de infraestruturas verdes citadas nas Tabela 4.

Tipologias de Infraestrutura verde	Fatores Ambientais	Fatores Sociais	Fatores Econômicos	Fatores de Governança
Pavimentação Permeável	Redução de escoamento superficial; Aumento da infiltração de água; Redução da poluição hídrica.	Melhoria na qualidade de vida; Redução do risco de enchentes.	Redução de custos de drenagem urbana; Aumento do valor imobiliário.	Necessidade de manutenção e limpeza periódica; Regulação sobre materiais e construção.
Ruas Verdes/Caminhos Verdes	Melhoria da qualidade do ar; Aumento da biodiversidade; Diminuição do escoamento superficial; Regulação da temperatura; Criação de corredores ecológicos; Conexão de habitats.	Criação de espaços recreativos; Promoção da mobilidade ativa (caminhada, bicicleta); Promoção da saúde e bem-estar; Acesso a áreas naturais.	Incentivo ao ecoturismo; Potencial de aumento no comércio local.	Planejamento urbano integrado; Políticas de incentivo verde; Políticas de uso do solo; Manutenção contínua.
Jardins de Chuva	Captura e filtragem de águas pluviais; Redução da poluição dos cursos d'água.	Educação ambiental para a comunidade; Estética e beleza urbana.	Redução de custos com tratamento de água; Incentivo fiscal para implementação.	Normas para construção; Suporte técnico e financeiro.

Quadro 6c. Fatores ambientais, sociais, econômicos e de governança relacionados às tipologias de infraestruturas verdes citadas nas Tabela 4.

Tipologias de Infraestrutura verde	Fatores Ambientais	Fatores Sociais	Fatores Econômicos	Fatores de Governança
Vias de Uso Múltiplo/Ruas Completas	Melhoria da qualidade do ar; Redução do uso de veículos motorizados.	Acessibilidade para todos os usuários; Redução de acidentes de trânsito.	Valorização imobiliária; Economia com infraestrutura viária.	Regulamentação para designs inclusivos; Coordenação entre diversos departamentos.
Lagoa Seca	Armazenamento temporário de águas pluviais; Prevenção de enchentes.	Criação de áreas recreativas temporárias; Redução de danos ambientais em áreas urbanas.	Redução de custos com enchentes; Valorização de áreas circundantes.	Políticas de gerenciamento de águas pluviais; Monitoramento e manutenção.
Biovaleta	Filtragem de poluentes de águas pluviais; Infiltração de água no solo.	Melhoria da estética urbana; Redução de calor urbano.	Economia em infraestrutura de drenagem; Potencial para subsídios verdes.	Normas de construção sustentável; Inspeções regulares.

Fonte: Autoria própria com base no Guia IPT (2020), 2024.

Considerando o contexto específico da área selecionada e os objetivos da infraestrutura verde, dentre as tipologias indicadas pela matriz foi escolhido o jardim de chuva como sendo a opção mais apropriada à realidade local. Adotou-se uma abordagem holística, considerando as vantagens, aplicações e limitações descritas na Tabela 4 e os fatores relacionados na Tabela 5 e buscando atender diferentes critérios. A escolha da localização da infraestrutura verde considerou os aspectos físicos e de infraestrutura do distrito de estudo, como a largura da via; seu uso; localização; inclinação; sistema de drenagem atual. A partir disto do exposto nas

Tabelas 4 e 5, as tipologias que mais se adaptam ao local seriam os jardins de chuva e as biovaletas (Rodrigues, Molina Júnior e Canteras, 2023).

As demais tipologias de infraestruturas verdes selecionadas para análise e indicadas na Tabela 4 necessitam de espaços e obras complexas, o que não seria possível para a realidade do local, devido ao espaço ilimitado e escassez de investimentos neste tipo de infraestrutura. Já para instalação de biovaletas seria necessária a ligação com os sistemas de drenagem urbana do local, o que não é possível pois o distrito da Pipa não possui sistema de drenagem instalado, logo, não há rede para interligação das biovaletas, e segundo a Tabela 4 não é recomendável a utilização desta em áreas urbanizadas. A Quadro 7 sistematiza os motivos pelo qual tais tipologias de infraestrutura verdes não foram selecionadas para ser implementadas no local de estudo.

Quadro 7. Limitações e desafios que impossibilitam a implementação no local de estudo.

Tipologias de Infraestrutura verde	Limitações e desafios que impossibilitam a implementação no local de estudo
Lagoa de águas pluviais / Bacias de retenção	Não há espaço disponível; e alto custo de construção e manutenção.
Alagado Construído / Wetland	Não há espaço disponível; e alto custo de construção e manutenção.
Bioengenharia de solos	Necessidade de obra especializada de alto custo.
Pavimentação Permeável	Obras complexas de custos elevados; falta de aceitação do do governo local, falta de estudo da hidrogeologia do local e possível risco de contaminação de solo.
Ruas Verdes/Caminhos Verdes	Não há espaço disponível e falta de planejamento urbano.
Vias de Uso Múltiplo/Ruas Completas	Não há espaço disponível; desafios de design; altos custos; possível necessidade de alteração da legislação e regulamentação.
Lagoa Seca	Não há espaço disponível; alto custo de construção e manutenção.
Biovaleta	Não recomendada para áreas densamente urbanizadas e falta de sistemas de drenagem urbana do local.

Fonte: Autoria própria com base no Guia IPT (2020), 2024.

O Quadro 7 apresenta uma análise detalhada das limitações e desafios que impossibilitam a implementação de diversas tipologias de infraestrutura verde no local de estudo. A falta de espaço disponível é uma barreira recorrente, especialmente para

infraestruturas que requerem áreas significativas, como lagoas de águas pluviais, bacias de retenção, alagados construídos, ruas verdes, caminhos verdes e lagoas secas. Além disso, o alto custo de construção e manutenção é um obstáculo significativo para a maioria das tipologias listadas, destacando a necessidade de investimentos substanciais que muitas vezes não são viáveis sem o apoio governamental ou subsídios. A bioengenharia de solos e a pavimentação permeável enfrentam desafios adicionais devido à necessidade de obras especializadas de alto custo e à complexidade das obras, respectivamente. Para a pavimentação permeável, há também uma falta de aceitação por parte do governo local, ausência de estudos da hidrogeologia do local e possíveis riscos de contaminação do solo, que complicam ainda mais sua implementação. As vias de uso múltiplo e ruas completas, além dos altos custos e da necessidade de design especializado, podem necessitar de alterações na legislação e regulamentação vigente, o que representa um desafio adicional. Finalmente, as biovaletas não são recomendadas para áreas densamente urbanizadas e sofrem com a falta de sistemas adequados de drenagem urbana, evidenciando a complexidade de adaptar essas soluções a contextos urbanos densos.

A proposta de introdução de jardins de chuva considerou diversos aspectos, como o tráfego local, a largura das ruas, as áreas de contribuição das microbacias, a inclinação do terreno e a disposição do sistema de drenagem já existente. Essa abordagem apresenta várias vantagens para ambientes urbanos, como a melhoria do paisagismo, a diminuição do escoamento superficial, a eliminação de sedimentos finos, nutrientes, bactérias e metais, além da redução dos custos do sistema de drenagem e da flexibilidade no design. Os jardins de chuva desempenham um papel importante na mitigação de inundações ao armazenar temporariamente a água das chuvas para diminuir o pico de escoamento, o que é avaliado pelo tempo de atraso no fluxo máximo. Eles também têm a capacidade de tratar águas pluviais contaminadas por metais pesados de diversas fontes, como lavagem de pneus e combustão de veículos. A remoção desses metais ocorre principalmente nos primeiros 25 cm do solo do jardim, com as plantas absorvendo apenas uma pequena fração. Os jardins de chuva com solo de baixa condutividade hidráulica podem reduzir a perda de água entre chuvas, ao mesmo tempo que aumentam a eficácia na remoção de metais (Rodrigues, Molina Júnior e Canteras, 2023).

O parâmetro de projeto central que norteou a análise da implementação dos jardins de chuva foi a inclinação, pois, de acordo com Hashemi *et al.* (2020), locais

planos tornam possível o uso desses dispositivos de infiltração e retenção, sendo recomendado em casos semelhantes ao do estudo. A partir de análise visual e do uso da ferramenta "medir distância" do *Google Maps* foi possível medir as dimensões da rua. Em geral, devido à expansão urbana irregular, as ruas na Praia da Pipa não seguem o plano diretor, porém a rua da Gameleira possui uma largura de 6 metros, que está em de acordo com o plano e possibilita a implementação desta infraestrutura verde.

O manual técnico de design de jardins de chuva, desenvolvido no Projeto Solução para Cidades (ABCP, 2016), indica 1 ha (10.000 m²) como a área de bacia contribuinte máxima a ser controlada, ou seja, a área que terá sua água da chuva direcionada para um jardim de chuva (Rodrigues, Molina Júnior e Canteras, 2023). Em simulações computacionais, a implantação de jardins de chuva em uma bacia é capaz de reduzir de 11 a 20% o escoamento superficial da bacia durante períodos de chuvas (Gondim; Ohnumar e Obraczka M., 2023). Portanto, é essencial conhecer a área de cada microbacia e a posição dos jardins. Neste estudo não foram levantadas essas informações devido à dificuldade de acesso a dados da microbacia do local, assim não foi possível dimensionar o jardim de chuva.

De acordo com Rodrigues, Molina Júnior e Canteras (2023), essa tipologia de infraestrutura verde é uma das melhores práticas de gestão de águas pluviais, proporcionando serviços ambientais e ecossistêmicos relacionados à proteção dos recursos hídricos, com maior potencial para manter o fluxo de água, além de reduzir os efeitos das ilhas de calor, melhorar a qualidade do ar, proporcionar equilíbrio ambiental e estimular a recreação e a saúde física e mental. Com a implementação dos jardins de chuva podem ser alcançadas metas do ODS 6, 11 e 9, que são: melhorar a qualidade da água reduzindo a poluição e aumentando substancialmente a reciclagem e a reutilização segura globalmente (meta 6.3); aumentar substancialmente a eficiência no uso da água em todos os setores e garantir retiradas sustentáveis e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água (meta 6.4); desenvolver infraestrutura de qualidade, confiável, sustentável e resiliente para apoiar o desenvolvimento econômico e o bem-estar humano, com foco em acesso equitativo para todos (meta 9.1); e aprimorar a urbanização inclusiva e sustentável (meta 11.3) (OECD, 2022).

5.4 Diretrizes para o Plano Diretor de Tibau do Sul

A falta de infraestruturas básicas e de base de dados geográficos do Distrito da Pipa afetam a proposição de aplicação de infraestruturas verdes. A governança local não possui diretrizes para instalação de infraestruturas que estejam alinhadas ao desenvolvimento sustentável. Posto isso, esta pesquisa também teve como objetivo analisar o Plano Diretor do município de Tibau do Sul a fim de investigar as lacunas existentes que estariam relacionadas às aplicações de infraestruturas verdes, além de buscar nas legislações de outras cidades brasileiras dispositivos que podem vir a ser incluídos na atualização deste Plano.

O Plano Diretor de Tibau do Sul se encontra desatualizado, uma vez que foi elaborado em 2008 e não passou por revisões desde então. Segundo o Estatuto da Cidade, Lei Federal Nº 10.257 (Brasil, 2001), os planos diretores devem ser revisados a cada dez anos no máximo. No entanto, os municípios têm autonomia para definir prazos mais curtos para a revisão e atualização de seus planos diretores, caso considerem necessário, desde que respeitem o limite mínimo estabelecido pela legislação federal. O processo de revisão e atualização geralmente envolve consultas públicas, debates e audiências para garantir a participação da comunidade na definição das políticas urbanas.

Além disso, o plano existente carece de uma abordagem que identifique de forma clara as questões prioritárias a serem abordadas no município. Em vez disso, ele adota uma abordagem prospectiva, focando nas necessidades futuras da população em relação às políticas setoriais e ao ordenamento territorial. No entanto, uma parcela significativa das habitações foi construída de forma irregular em áreas destinadas à proteção ambiental, resultando em danos significativos ao meio ambiente, como ocupações em áreas de risco e impermeabilização do solo fora dos padrões estabelecidos no plano diretor.

Nas últimas décadas, os modelos de infraestrutura verde citados neste estudo têm sido implementados ao redor do mundo, se mostrando capazes de modificar políticas, integrar componentes da estrutura urbana e promover cidades mais ambientalmente equilibradas e menos impactantes. No entanto, iniciativas e mudanças legislativas com essa perspectiva são ainda incipientes em muitas prefeituras brasileiras. Portanto, é crucial que o financiamento e o planejamento de infraestruturas urbanas, tanto por parte da União, dos estados e das prefeituras, sejam

capazes de induzir comportamentos e ações alinhadas com a sustentabilidade (OECD 2022).

Considerando que a área de estudo demonstra problemas que refletem por todo o Distrito da Pipa, afetando até mesmo o município de Tibau do Sul, a Quadro 8 explicita algumas medidas já adotadas por outros municípios do Brasil, e dispostas em seus planos diretores e que podem vir a ser integradas plano diretor de Tibau do Sul quando esse for atualizado.

Quadro 8a - Infraestruturas verdes constantes em planos diretores de cidades brasileiras.

Município	Legislação	Indicativo no documento legislativo
Belo Horizonte	Lei Municipal Nº 11.181 de 08/08/2019, institui o Plano Diretor do município de Belo Horizonte.	Art. 30. As ações de qualificação do espaço público devem ocorrer em consonância com os seguintes princípios: IX - priorização da utilização de soluções e materiais de natureza sustentável, inclusive de pavimentos de natureza permeável, de forma a contribuir para a drenagem urbana.
		Art. 10. São princípios vinculados à proteção ambiental no Município: VII - a instituição de corredores verdes, bem como programa voltado para a criação de condições para a sobrevivência de avifauna no meio urbano pelo plantio de árvores frutíferas, nos termos da legislação federal.
Recife	Lei Complementar Municipal Nº 2 de 23/04/2021, institui o plano diretor do município de Recife.	Art. 46. São diretrizes definidas para a Zona de Desenvolvimento Sustentável (ZDS): VIII - conservar áreas permeáveis a partir da adoção de soluções de infraestrutura verde de adaptação climática.

Quadro 8b - Infraestruturas verdes constantes em planos diretores de cidades brasileiras.

Recife	Lei Complementar Municipal Nº 2 de 23/04/2021, institui o plano diretor do município de Recife.	Art. 164. A política urbana de meio ambiente, sustentabilidade, enfrentamento às mudanças climáticas e de defesa civil observará as seguintes diretrizes: X - adotar estratégias de infraestrutura verde e azul e de espaços multifuncionais nas margens inundáveis e áreas costeiras; XXXV - Promover medidas e ações para a drenagem urbana com o intuito de reduzir os impactos ambientais dos alagamentos, enchentes e inundações; XIII - elaborar o plano específico da infraestrutura ambiental municipal para conservação, fortalecimento e incremento do ativo ambiental da cidade e para conexão das áreas verdes entre si e à rede hídrica principal e secundária; XLII - investir na renaturalização e melhoria das calhas fluviais e na recuperação dos sistemas de macro e microdrenagem; XLV - elaborar política urbana e ambiental de qualificação dos cursos d'água, suas margens e áreas de várzea que busque o equilíbrio entre questões ambientais e sociais e promova a adequada drenagem e manejo das águas pluviais.
--------	---	--

Quadro 8c - Infraestruturas verdes constantes em planos diretores de cidades brasileiras.

Recife	Lei Complementar Municipal Nº 2 de 23/04/2021, institui o plano diretor do município de Recife.	Art. 12. As diretrizes para a realização dos objetivos relativos ao princípio da sustentabilidade ambiental são as seguintes: VI - elaborar e implementar uma política consistente de incentivo à utilização de energias renováveis, ao uso e reuso de água nas construções e nas edificações existentes, à implantação de tetos verdes e à adoção de tecnologias limpas, promovendo a sistemática redução da emissão de gases que contribuem para o efeito estufa. Art. 352. A SMD corresponde a vinte por cento da área livre do terreno resultante da aplicação da Taxa de Ocupação máxima, definida no Anexo XXI desta Lei Complementar. § 2º A infraestrutura verde a que se refere o § 1º deste artigo consiste em dispositivos que permitam a ampliação da área drenante no imóvel, utilizando-se de vegetação, técnicas e materiais que auxiliem o sistema de drenagem através da infiltração e retenção da água da chuva.
--------	---	--

Quadro 8d - Infraestruturas verdes constantes em planos diretores de cidades brasileiras.

Município	Legislação	Indicativo no documento legislativo
Jundiaí	Lei Municipal N° 9.321 de 11/11/2019, revisa o Plano Diretor do Município de Jundiaí.	Art. 48. O IPTU verde consiste na concessão de benefícios fiscais, definidos em legislação específica, para imóveis que adotem as seguintes práticas: I – sistema de captação de água da chuva para reuso; II – sistemas de reuso de água; III – sistemas hidráulico solar, elétrico solar e de energia eólica; IV – utilização de material sustentável em construções; V – manutenção de altos índices de permeabilidade e de área verde no imóvel; VI – calçadas arborizadas; VII – horta urbana; VIII – instalação de telhado verde e jardim vertical; IX – preservação de áreas de mata, Áreas de Preservação Permanente - APP e áreas com potencial de recuperação; X – preservação de Áreas Verdes, nascentes, lagos e lagoas; XI – outras práticas que resultem em sustentabilidade ambiental definidas em lei. Parágrafo único. Os estudos para a regulamentação da aplicação do IPTU verde serão desenvolvidos no prazo máximo de 18 (dezoito) meses a partir da publicação desta Lei.

Quadro 8e - Infraestruturas verdes constantes em planos diretores de cidades brasileiras.

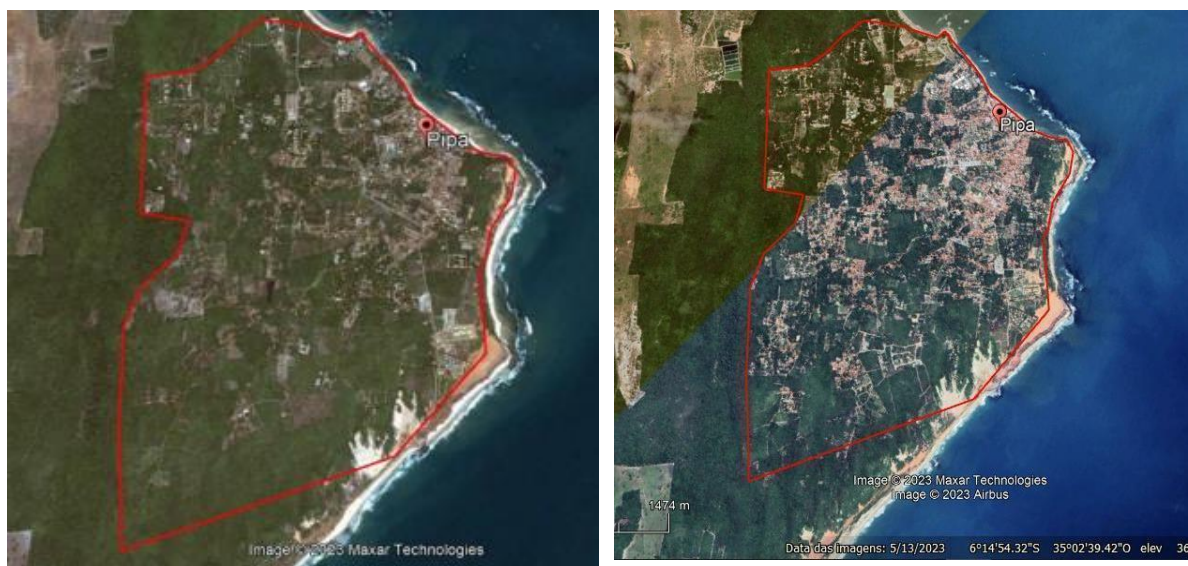
Rio de Janeiro	Lei Municipal Complementar Nº 270 de 16/01/2024, institui a revisão do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Sustentável do Município do Rio de Janeiro	Art. 454. Os projetos de reurbanização implementados pelo Poder Público ou por particulares no Município deverão seguir prioritariamente as seguintes diretrizes: I - redimensionamento de caixas de rua e passeios, de forma a viabilizar a criação de ciclorrotas inclusive para circulação de bicicletas de carga, privilegiando o espaço da mobilidade ativa em relação à mobilidade motorizada e, em especial, preservando e ampliando o espaço para circulação dos pedestres e a possibilidade de instalação de infraestrutura verde; X - recuperação e conservação contínua da infraestrutura verde urbana, mobiliário urbano, posteamento, luminárias históricas, monumentos, chafarizes e dos elementos de embelezamento do espaço público;
----------------	---	--

Fonte: Autoria própria, 2024.

5.5 Desafios, Perspectivas e Impactos

A partir da Figuras 23, que mostram imagens de satélite da região da Praia da Pipa nos anos de 2023 e 2013 respectivamente, é possível perceber que a paisagem mudou drasticamente nos últimos dez anos. As ocupações urbanas ocorreram em sua maioria de forma irregular e impactaram de forma negativa a disponibilidade e qualidade de água, a drenagem urbana, além de aumentar a geração de resíduos sólidos e o risco de contaminação do solo com efluentes não tratados (Araújo, 2002).

Figura 23 - Distrito da Praia Pipa no ano de 2013 e no ano de 2023.



Fonte: Adaptado do Google Earth Pro (2023).

A partir da Figura 22 e análise do mapa de NDVI, é possível identificar a amplitude das construções ao longo do período de 10 anos.

Implementar infraestruturas verdes mesmo em nível local, pode enfrentar desafios consideráveis. Como visto, ainda se trata de um conceito recente, tanto os governos quanto as empresas e a população em geral têm dificuldade em compreender a essência desse tipo de sistema e os benefícios que ele pode proporcionar, principalmente qua00n

to ao consumo de recursos naturais. O Plano de Diretor de Tibau do Sul, município ao qual o Distrito da Praia da Pipa pertence, não aborda de forma direta o conceito de infraestrutura verde e não dispõe de diretrizes para atingir metas claras relacionadas ao desenvolvimento sustentável.

A avaliação concreta dos custos e benefícios muitas vezes é complexa, envolvendo diversas áreas e disciplinas, e inclui métodos de cálculo variados. Muitos dos benefícios estão relacionados à prestação de serviços ecossistêmicos, como a promoção de recreação e a melhoria da qualidade do ar, os quais são desafiadores de avaliar. Contudo, questões sociais, culturais e políticas desempenham um papel crucial na investigação das futuras relações causais com conflitos ou degradação decorrentes de projetos de desenvolvimento de infraestrutura, especialmente em questões relacionadas à governança (Santos e Freiria, 2023).

A análise de viabilidade econômica é um desafio significativo, devido à escassez de dados históricos sobre custos e benefícios, ao contrário da infraestrutura tradicional. Além da falta de um sistema de informações ambientais que agreguem dados, estudos e material para tomadas de decisões e implementação de políticas públicas. Como resultado dessa incerteza, os estudos de avaliação frequentemente se baseiam em suposições conservadoras, o que pode levar a uma subestimação do valor de investimento em projetos desse tipo. Em termos de política pública, as infraestruturas verdes podem desempenhar um papel importante na adoção de estratégias abrangentes para adaptação às mudanças climáticas e mitigação de seus efeitos. A gestão sustentável dos ecossistemas em contextos urbanos fornece serviços que auxiliam as comunidades a enfrentarem os desafios decorrentes dessas mudanças (Rodrigues, Molina Júnior e Canteras, 2023).

Em relação às perspectivas futuras, destaca-se o desenvolvimento de avaliações de ciclo de vida, a quantificação dos impactos sociais e ambientais das infraestruturas verdes, a necessidade de criar ferramentas específicas para projetos e gestão, bem como a ampliação das políticas públicas que abordem o tema desde a legislação nacional até as alterações nos planos diretores locais. Além disso, é crucial realizar uma avaliação crítica e comparativa das ferramentas práticas utilizadas para avaliar os benefícios das infraestruturas verdes para consolidar e disseminar experiências práticas, aprendendo com os erros e sucessos (Rodrigues, Molina Júnior e Canteras, 2023).

Durante a revisão bibliográfica, observou-se uma predominância de casos de implantação de infraestruturas verdes em países desenvolvidos, sugerindo que estes estão mais avançados no tema. A condição econômica favorável desses países proporciona uma maior disponibilidade de recursos financeiros para investimentos em soluções verdes, em comparação com os países em desenvolvimento. No entanto, o

desenvolvimento sustentável pode representar importantes oportunidades para os países emergentes, tanto em termos de aumento da eficiência ecológica quanto de maior inclusão social. Superar a dependência tecnológica em relação aos países desenvolvidos é um desafio crucial nesse contexto (CGEE, 2012).

Mesmo com tantos desafios para implementação de infraestruturas verdes, cidades brasileiras já estão se apropriando dessa tecnologia, seja em dispositivos sobre o tema nos seus planos diretores, seja na implementação dessa solução verde no meio urbano. O município de Belo Horizonte, capital de Minas Gerais, é um exemplo importante, considerando que a Prefeitura implantou 60 jardins de chuva na cidade como forma de prevenir riscos de inundações e alagamentos na bacia dos Córregos do Nado e do Vilarinho, em um investimento de mais de 760 mil reais (Belo Horizonte, MG, 2023). Há também aqueles municípios que ainda não se apropriaram diretamente das infraestruturas verde, mas que possuem diretrizes que fomentam a criação de áreas verdes no meio urbano, como é o caso de Goiânia, capital de Goiás, onde há inúmeros parque urbanos que influenciam de forma positiva do microclima local (Rodrigues *et al.*, 2017).

Uma das necessidades fundamentais das políticas públicas ambientais é o estabelecimento de indicadores que permitam a tomada de decisão. Verifica-se um crescimento das “cidades verdes”, com foco na redução dos efeitos adversos da poluição ambiental. Isso implica a necessidade de mais evidências científicas para a eficiência das infraestruturas verdes (Kumar *et al.*, 2019). Contudo, uma forma de avaliar os impactos das infraestruturas verdes é sua relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030, uma vez que é uma estratégia para alcançar os ODS.

Ao analisar os serviços ambientais proporcionados pelas infraestruturas verdes, como a purificação da água, melhoria da qualidade do ar, oferta de espaços recreativos e contribuição para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas (Comissão Europeia, 2019), percebe-se que essas soluções verdes desempenham um papel fundamental no auxílio aos territórios para alcançar as metas estabelecidas pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 6 (Água e Saneamento), o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima). Dessa forma, as infraestruturas verdes não apenas promovem o desenvolvimento sustentável, mas também contribuem para a segurança hídrica e a adaptação climática.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa apresentou uma metodologia para propor a implementação de infraestruturas verdes com o objetivo de mitigar e adaptar os efeitos da expansão urbana e das mudanças climáticas, em recorte geográfica na Praia da Pipa (RN). Foram consideradas suas características espaciais, a legislação vigente e referências bibliográficas. Além da produção de mapas de declividade, NDVI e bacia hidrográfica, por meio do *software* QGIS, essenciais para fundamentar as proposições e analisar a área de estudo.

Após o diagnóstico da região, o estudo se concentrou em identificar áreas suscetíveis a frequentes alagamentos para a aplicação de infraestruturas verdes na área urbana da Praia da Pipa. Sendo selecionado um trecho como objeto de estudo, em que se aplicou a matriz do Guia IPT (2020), que correlaciona tipologias de infraestruturas verdes com os serviços ambientais. Dessa análise, teve-se como produto a sugestão de tipologias com maior potencial em relação a esses serviços ambientais, detalhamentos destas tipologias, exposição de fatores de critérios e das limitações de implementação, e por fim a indicação do jardim de chuva como a opção mais adequada a ser implementada no trecho estudado.

A falta de infraestruturas básicas e de uma base de dados geográficos abrangente no Distrito da Pipa dificultou a proposição ampla de implementação de infraestruturas verdes alinhadas na área de estudo. A ausência de diretrizes claras de governança local para a instalação dessas infraestruturas também representa um obstáculo significativo. A desatualização do Plano Diretor de Tibau do Sul, elaborado em 2008 e não revisado desde então, revela uma lacuna na gestão urbana que compromete a gestão hídrica e o desenvolvimento sustentável da região. A fim de preencher essa lacuna, foi produzido quadro com dispositivos legais já adotadas por outras cidades brasileiras em seus planos diretores, afetos ao tema de infraestruturas verdes. De modo que esses dispositivos podem vir a ser discutidos e integrados como diretrizes na atualização do plano diretor de Tibau do Sul.

As infraestruturas verdes têm se mostrado estratégias com grande potencial para contribuir com o alcance de diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, principalmente em relação aos ODS 6, 11 e 13. A conscientização, resultante da percepção sustentável da intervenção humana, é essencial para recuperar e planejar o ambiente urbano. Assim, as infraestruturas verdes destacam-se na valorização de áreas naturais e na geração de vantagens econômicas, ambientais e paisagísticas.

ANEXO A – Relatório de Precipitação anual Tibau do Sul



GOVERNO DO RIO GRANDE DO NORTE
SECRETARIA DA AGRICULTURA DA PECUÁRIA E DA PESCA
EMPARN - EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO RN



Precipitação anual por estação de coleta em mm (2002 - 2023)

Relatório exportado em: 17 de julho de 2024 20:15hs

Mesorregião:	Microrregião:	Município:	Latitude:	Longitude:	Nome do Posto:
Leste Potiguar	Litoral Sul	Tibau do Sul	-6.188	-35.092	TELEPLU - TIBAU DO SUL

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2021 *	-	-	-	0 *	0.2 *	160 *	203.6	329.6	181.2	68.4	60	27.6	1030.6 *
2022 *	130	23.2	260.2	254.8	329.6	321.4	530.4	84 *	-	-	-	23.6 *	1957.2 *
2023 *	91.8	52.2	265.8	162.8	151	215.6	129.6	147	5.4 *	-	-	-	1221.2 *
Estatísticas	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Quantidade de Anos	2	2	2	2	2	2	3	2	1	1	1	1	1
Média (mm)	110.9	37.7	263.0	208.8	240.3	268.5	287.9	238.3	181.2	68.4	60.0	27.6	
Máxima (mm)	130.0	52.2	265.8	254.8	329.6	321.4	530.4	329.6	181.2	68.4	60.0	27.6	
Mínima (mm)	91.8	23.2	260.2	162.8	151.0	215.6	129.6	147.0	181.2	68.4	60.0	27.6	

Por falta de dados no período definido, não foi possível gerar o relatório para o(s) seguinte(s) posto(s):

- Tibau do Sul: TELEPLU - TIBAU DO SUL

Legenda: * Total parcial

Fonte: EMPA – RN, 2024.

REFERÊNCIAS

AMORIM, R. F.; MAIA, R. P. **Diagnóstico preliminar das falésias de Pipa e Barra de Tabatinga-RN**. Volume 2. Natal: UFRN, 182 pp. 2021.

ARAÚJO, M. C. C.. **Uma viagem insólita: de um território pesqueiro a um paraíso Turístico – Pipa/RN**. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, 198 f., 2002.

ARAÚJO, N. H. L.; BASTITA, I. S.; TERTO, L. M.; ANJOS, S. R. Impactos ambientais dentro da microbacia do rio Jacu: um estudo de caso da área em torno do rio principal – Jacu, no município de Goianinha-RN. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Sobral, v. 21, n. 2, p. 1070-1090, 2019. Dossiê: Estudos da Geografia Física do Nordeste Brasileiro. Universidade Estadual Vale do Acaraú.

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. **Projeto Técnico: Jardins de Chuva**. Programa de soluções para cidades. São Paulo: ABCP, 13 p, 2016. Disponível em: https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2016/01/Proj_tec_Jardins_Chuva.pdf. Acesso em: mai. 2024.

BARJENBRUCH, B. J.; BENEFITS, M. Inconveniences, and facilities of the application of rain gardens in urban spaces from the perspective of climate change: a review. **Water**, 14, 1153, 2022.

BENEDICT, M. A.; McMAHON, E. T.. **Green Infrastructure: Linking landscapes and communities**. Island Press. Washington, DC, 302 pp., 2006.

BRASIL. **Lei Federal Nº.12.187** de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC. Acesso em: mar. 2024.

BRASIL. **Lei Federal Nº.10.257** de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Acesso em: mar. 2024.

BRASIL. **Decreto Nº 19.341** de 12 de setembro de 2006. Dispõe sobre o parcelamento da Unidade de Conservação da área de Proteção Ambiental – APA BONFIM/GUARAIRAS, criada pelo Decreto Estadual Nº 14.369/1999, no Parque Estadual da Mata da Pipa – PEMP. Disponível em: <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC000000000016367.PDF>. Acesso: out. 2023.

CAMARGO, L.J.J.; CAMARGO J. M. C.; RONDON V. E.; QUEIROZ B. P. H.; SANTOS R. S.; FAVERO S.; MERCANTE A. M.. Análise da sustentabilidade do turismo ecológico no município de Bonito, Mato Grosso do Sul, na promoção do desenvolvimento regional. **Sociedade & Natureza**, 23 (1): 65-75, 2011.

CGEE. Economia verde para o desenvolvimento sustentável. **Centro de Gestão e Estudos Estratégicos**. Brasília, DF, 64-65 2012. Disponível em: https://www.cgEE.org.br/documents/10195/11009696/Livro_Economia_Verde_web_2

5102013_9537.pdf/d42012b6-a5d4-488d-8bc0-680662c47d89?version=1.4. Acesso em: mar. 2024

COMISSÃO EUROPEIA. **EU guidance on Integrating Ecosystems and their Services into Decision-Making.** 2019. Disponível em: http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/index_en.htm Acesso em: dez. 2023.

CORMIER, N. S.; PELLEGRINO, P. R. M.. Infraestrutura verde: uma estratégia paisagística para a água urbana. **Paisagem Ambiente: ensaios**, 25: 125-142, 2008.
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**. 2015. Disponível em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/fb117980-d5aa-46df-8edc-af367cddc202>. Acesso: out. 2023.

COSTA, S. E. A. L.. **A utilização do método GPR para correlação das atividades antrópicas com episódios de movimentos de massa e queda de blocos na Praia de Pipa-RN.** Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, 120 f., 2022.

CPRM/PRODEEM – Serviço Geológico do Brasil / Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Tibau do Sul, estado do Rio Grande do Norte.** Organizado por João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Saulo de Tarso Monteiro Pires, Donaldson Eliezer Guedes Alcoforado da Rocha, Valdecílio Galvão Duarte de Carvalho. Recife, 2005. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/17279/4/rel_tibau_sul.pdf. Acesso: jun. 2023.

DONATO, A. L.. Planejamento Urbano e o Direito ao Acesso à Água. **Revista do CNMP**, 7: 186–210, 2018.

DRUMOND, R. A. S.; ALMEIDA, R. P.; NASCIMENTO, N. O.. Mudanças climáticas e Plano Diretor: mitigação de inundações em Belo Horizonte. **Cadernos Metrópole**, 25 (58), 899–922. 2023.

FALCÃO, C. L.. **Infraestrutura verde como estratégia de gestão de recursos hídricos em área urbana em Recife (PE).** Dissertação, Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Recife-PE, 72 f., 2018.

FARAH, I.. Espaços livres e infraestrutura verde: contribuição para a rede ecológica das cidades. **Paisagens Híbridas**, 2 (1): 60-73, 2022.

FERREIRA, J. C.; MACHADO, J. R.. Infraestruturas verdes para um futuro urbano sustentável. O contributo da estrutura Ecológico e dos corredores verdes. **Revista Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP)**, 2010. Disponível em: <https://revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/61279/64214>. Acesso em: mar. 2024.

GAETE, C. M.. Tres claves para recuperar los espacios públicos y fomentar la vida urbana. 16 Jan 2017. **ArchDaily Brasil**. (Trad. Daudén, Julia) ISSN 0719-8906. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/803094/tres-ideias-para-recuperar-os-espacos-publicos-e-fomentar-a-vida-urbana>. Acesso em: fev. 2024.

GONDIM F.; OHNUMA A. A. Jr.; OBRACZKA M.. Jardins de chuva: atualizações sobre a técnica a partir de uma revisão sistemática. **Sustentável**, Florianópolis, 9 (5): 201-215, 2023.

HERZOG, C.. Infraestrutura verde para cidades mais sustentáveis: Produtos e sistemas relativos à infraestrutura. **Cadernos Virtuais de Construção Sustentável**, 2010.

HERZOG, C. P.; ROSA, L. Z.. Infraestrutura Verde: Sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. **Revista LABVERDE**, 1: 92 – 115, 2010.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **SGI 5.5 – Introdução ao Sistema de Informações Geográficas – SGI. Imagem Geosistemas**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 22 pp. 2019.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Special Report on Global Warming of 1.5°C (SR1.5) - Summary for Policymakers**. Chapter 4, Section 4.3. pp. 9-10. 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/> Acesso: mar. 2024.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Boletim regional, urbano e ambiental. Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais**. – n. 1. pp. 28-37. 2022 – Brasília: Ipea. Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais. n. 1. pp. 28-37. 2022. Disponível em: https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/boletim_regional/220118_brua_25.pdf. Acesso em: mai. 2024.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Guia Metodológico para Implantação de Infraestrutura Verde**. São Paulo: Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas - FIPT, 2020.

LEITE, M. E.; ROSA, R.. Geografia e geotecnologias no estudo urbano. **Caminhos de Geografia**, 7 (17): 180-186, 2006.

MAROPO, V. L. B.; MORAIS, E. E.; NUNES, A. C.; SILVEIRA, J. A. R.. Planejamento urbano sustentável: um estudo para implantação de infraestrutura verde no Bairro Bancários, João Pessoa-PB, Brasil. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 11: e20180005, 2019.

MARTÍNEZ J. C.; GARCÍA, M. J.; LÓPEZ, R. N.; VALENCIANO, P. J.. Green Infrastructure and Water: na Analysis of Global Research. **Water**, 12 (6): 1760, 25 pp., 2020.

McMAHON E. T.. Green Infrastructure. **Planning Commissioners Journal**, 37 (Winter): 4-7, 2000.

20refs/tese.pdf. Acesso em: mar. 2024.

RODRIGUES, B. N.; MOLINA JUNIOR, V. E.; CANTERAS F. B.. Green Infrastructure as a solution to mitigate the effects of climate change in a coastal area of social vulnerability in Fortaleza (Brazil). **Environmental Advances**, 13: 100398, 2023.

RODRIGUES, A.P.M.; PASQUALETTO, A.; GARÇÃO, A.L.O.. A Influência dos Parques Urbanos no Microclima de Goiânia. **Revista Baru-Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos**, 3 (1): 25-44, 2017.

SÁ, N.. **TUTORIAL: Classes de Declividade no QGIS**. Publicado em: 03/02/2014. Disponível em: <https://narceliodesa.com/calculando-declividade-qgis/>. Acesso em: mar 2024.

SANTOS, M.. **A Urbanização Brasileira**. São Paulo: HUCITEC, 157 p., 1993.

SANTOS, R. F.. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. Oficina de textos. São Paulo, 184 pp., 2004.

SANTOS, M. R. R.; FREIRIA, R. C.. O Estatuto da Cidade e seu potencial na implementação de infraestruturas verdes. **Labor e Engenho**, 17: e023003, 2023.

SANTOS, S. S. A.. **Diretrizes para a implantação de sistemas de infraestrutura verde em meio urbano: estudo de caso da cidade de Ribeirão Preto - SP**. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, São Carlos – SP, 178 f., 2014.

SILVA, B. O.. **Vulnerabilidades e riscos socioambientais provocados pela mudança climática na cidade de Natal-RN**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Estudos Urbanos e Regionais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 89-100. 2019.

SILVA, B. C.; FRANCA S. R.; OLIVEIRA, A. W.. Turismo em Unidades de Conservação do Litoral Sul Potiguar: Relação entre Planos de Manejo e Planos Diretores. **Revista Científica, Biodiversidade do Brasil**, 13 (3): 1-14, 2023.

SILVA, E. F.; OLIVEIRA, J. L. E.. Gestão Territorial e Ocupação do Solo no Município de Tibau do Sul/RN - Brasil. **Sociedade e Território**, Natal, 25 (1): 62–79, 2013.

SILVA, S. R. A.. **Contribuição da Infraestrutura Verde para as Cidades**. Dissertação. Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, p. 40-49. 2017. Disponível em: <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/dissertacoes/dissertpoli2080.pdf>. Acesso em: fev. 2024.

SILVA, F. E.; OLIVEIRA E. L. J.. Gestão Territorial e Ocupação do Solo no Município de Tibau do Sul/RN - Brasil. **Sociedade e Território**, 25 (1): 62 - 79, 2013.

SOUZA, L. S.; SOUZA, A. L. R. Análise do status dos incentivos fiscais no âmbito da problemática ambiental nas capitais brasileiras: Um estudo exploratório sobre o IPTU Verde na cidade de Salvador - BA. *In: Encontro Internacional sobre Gestão Ambiental e Meio Ambiente*, 20., 2018, São Paulo. **Anais XX Engema**. São Paulo: Engema, 2018. p. 2 - 15. Disponível em: <https://engemausp.submissao.com.br/20/anais/arquivos/233.pdf>. Acesso em: mar. 2024.

SPIRN, A. W.. **O jardim de granito: a natureza no desenho da cidade**. Tradução de Paulo Renato Mesquita Pellegrino. São Paulo, Edusp, 360 pp., 1995.

TEIXEIRA, F. S.. Urbanização e áreas de riscos: uma análise do município de Tibau do Sul/RN. *In: Congresso Internacional de Meio Ambiente e Sociedade*, 1 e Congresso Internacional de Diversidade do Semiárido, 3., 2019, Campina Grande. **Anais do I CONIMAS e III CONIDIS**. Campina Grande: Realize Editora, 2019. p. 8 - 11. Disponível em: [file:///C:/Users/monag/OneDrive/%C3%81rea%20de%20Trabalho/Mestrado/Artigos%20refs/TRABALHO_EV133_MD1_SA47_ID2317_07112019230714%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/monag/OneDrive/%C3%81rea%20de%20Trabalho/Mestrado/Artigos%20refs/TRABALHO_EV133_MD1_SA47_ID2317_07112019230714%20(1).pdf). Acesso em: fev. 2024.

TIBAU DO SUL. **Lei Complementar N° 06**, de 30 de dezembro de 2008. Dispõe sobre o Plano Diretor do Município de Tibau do Sul e dá outras providências, 2008b.

TIBAU DO SUL. **Lei Municipal N° 383**, de 31 de dezembro de 2008. Dispõe sobre a Política Municipal de Meio Ambiente e o Código do Meio Ambiente do Município de Tibau do Sul e cria o Sistema Municipal de Meio Ambiente, 2008a.

TÓTH, T. SILVA, B. M.. Development Directions of Water Management by Comparing Rio Grande do Norte to Hungary. **Belügyi Szemle**, 69 (4): 53-67, 2021.

UACDC - University of Arkansas Community Design. **LID - Low Impact Development: a design manual for urban areas**. Vol. 1. Fayetteville: University of Arkansas Press, 2010, 29.

VEIGA, T. C.; SILVA, J. X.. Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas potenciais para atividades turísticas: O caso de Macaé – RJ. **Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações**. EdiUnesc: Criciúma – SC, 180-251, 2020.

XIMENES, D. S. S.; MAGLIO, I. C.. Soluções Baseadas na Natureza e adaptação climática no Brasil: estudo de cidades costeiras vulneráveis. **Revista LABVERDE**, 12 (1): 183-206, 2022.

WEBSITES

Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte S/A – EMPARNA. Disponível em: <https://meteorologia.emparn.rn.gov.br/inicio>. Acesso em: jul. 2024.

GOOGLE. Google Earth website. <http://earth.google.com/>. Acesso em: out. 2023 e mar de 2024.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Previsão do Tempo. Disponível em:

<https://www.inmet.gov.br/>. Acesso em: abril 2024.

Organização das Nações Unidas. Disponível em: <https://brasil.un.org/> Acesso em: jul. 2023.

Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. PBH investe na implantação de jardins de chuva para prevenir inundações e alagamentos. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/politica-urbana/informes-tecnicos/pbh-investe-na-implantacao-de-jardins-de-chuva-para-prevenir-inundacoes-e-alagamentos>. Acesso em: abr. 2024.