

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CIDADES: GESTÃO ESTRATÉGICA DO
TERRITÓRIO URBANO**

ALONSO MOSCON

**SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA PARA DRENAGEM URBANA:
Identificando oportunidades de aplicação no contexto de Santa Rosa/RS**

São Leopoldo

2022

ALONSO MOSCON

**SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA PARA DRENAGEM URBANA:
Identificando oportunidades de aplicação de Santa Rosa/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Gestão Estratégica do Território Urbano, pelo Curso de Especialização em Cidades: Gestão Estratégica do Território Urbano da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Orientadora: Profa. Dra. Patricia de Freitas Nerbas

São Leopoldo

2022

RESUMO

As soluções baseadas na natureza (SBN) não possuem uma definição claramente estabelecida na literatura científica. No entanto, as SBN podem ser entendidas como soluções inspiradas e apoiadas na natureza que visam fornecer benefícios sociais, econômicos, ambientais e estruturais ao mesmo tempo e cuja implantação é economicamente viável. As SBN podem ser utilizadas para mitigar problemas ambientais associados à drenagem urbana ao mesmo tempo que auxiliam as cidades a atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015. Este trabalho abordou a implementação de SBN aplicadas à drenagem urbana em áreas públicas e naquelas protegidas por lei. O principal objetivo foi identificar oportunidades para a implantação de SBN na drenagem pluvial da zona urbana do município de Santa Rosa/RS, com vistas à mitigação dos efeitos de inundações e alagamentos. Para tanto, foi realizado um estudo de caso único em uma sub-bacia hidrográfica predominantemente inserida na zona urbana do município. Foi realizada uma caracterização socioeconômica, da legislação municipal, dos planos setoriais pertinentes e uma caracterização ambiental do meio físico com o objetivo de verificar se a área de estudo possui condições de receber projetos de SBN associadas à interceptação, retenção e infiltração de águas pluviais. Posteriormente foram analisados e quantificados os espaços públicos e áreas protegidas por lei que poderiam receber SBN. Foi verificado que a área de estudo possui características ambientais do meio físico que justificam e suportam a implantação de SBN deste tipo. Também foi verificado que pouco mais de 11% da área total da sub-bacia hidrográfica do Arroio Pessegueirinho, uma área considerável, são áreas públicas que podem receber dispositivos diversos de SBN. A implantação da SBN nestas áreas tem o potencial de mitigar alagamentos e inundações e melhorar a qualidade de vida da população ao mesmo tempo que impulsiona a economia local e preserva o meio ambiente.

Palavras-chave: Soluções baseadas na natureza; drenagem urbana; inundações.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – 17 objetivos do desenvolvimento sustentável.	7
Figura 2 – Antes e depois da instalação do <i>Qingshangang Wetland Sponge Project</i> , Wuhan, China.....	26
Figura 3 – Biovaleta no canteiro central de uma avenida em Greendale, Wisconsin, EUA.	32
Figura 4 – Canteiros de árvores estendidos na cidade de Philadelphia, EUA.	33
Figura 5 – Jardim de chuva em um estacionamento.....	34
Figura 6 – Vista de parte da restauração do Te Auaunga Awa (Oakley Creek), Auckland, Nova Zelândia.....	37
Figura 7 – Telhado verde na cidade de Chicago, EUA.	39
Figura 8 – Fluxograma das etapas da metodologia.	44
Figura 9 – Localização da área de estudo.	47
Figura 10 – Localização do município de Santa Rosa em relação à Formação Serra Geral no Rio Grande do Sul (unidades verdes).....	51
Figura 11 – Localização das sondagens e identificação das profundidades da camada de solo não saturado.	54
Figura 12 – Precipitação acumulada média mensal medida pela estação do INMET de São Luiz Gonzaga entre os anos de 1991 e 2020.	55
Figura 13 – Áreas críticas para inundações na zona urbana de Santa Rosa.....	57
Figura 14 – Corpos hídricos e APPs demarcados na área de estudo.....	59
Figura 15 – Traçado e hierarquia das vias públicas existentes na sub-bacia do Arroio Pessegueirinho.....	61
Figura 16 – Vista da Avenida Buricá.	63
Figura 17 – Vista da Avenida Expedicionário Weber.	64
Figura 18 – Localização das áreas de parques, praças e áreas verdes.	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Uso do solo na sub-bacia do Arroio Pessegueirinho.....	58
Tabela 2 – Análise dos trechos das vias principais e avenidas inseridas na sub-bacia do Arroio Pessegueirinho quanto à aptidão à implantação de SBN em passeios públicos e canteiros centrais.	62
Tabela 3 – Quantificação das áreas consideradas aptas à implantação de SBN e os dispositivos e/ou ações recomendados.....	67

LISTA DE SIGLAS

APPs	Áreas de preservação permanente
BMP	Best Management Practices
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
Kc	Coefficiente de compacidade
Kf	Fator de forma
LID	Low Impact Development
LIUDD	Low Impact Urban Design and Development
ONU	Organização das Nações Unidas
SBN	Soluções baseadas na natureza
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SuDS	Sustainable Drainage Systems
WSUD	Water Sensitive Urban Design

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.1 Delimitação do Tema	11
1.2 Objetivos	11
1.2.1 Objetivo Geral	11
1.2.2 Objetivos Específicos	11
1.3 Justificativa.....	12
2 DRENAGEM URBANA E SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA	16
2.1 Evolução da Drenagem Urbana	16
2.2 Uso de Soluções Baseadas na Natureza em Áreas Urbanas	19
2.2.1 Cidades esponja na China	25
2.3 A Vegetação e a Drenagem Urbana: Saúde e Bem-Estar Social.....	28
2.4 Dispositivos e Ações das Soluções Baseadas na Natureza	31
2.4.1 Dispositivos de Biorretenção e Bioinfiltração.....	31
2.4.2 Restauração de Rios	35
2.4.3 Corredores Verdes Urbanos.....	38
2.4.4 Telhados Verdes	39
3 METODOLOGIA	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1 Caracterização da Área de Estudo	45
4.1.1 Localização e Aspectos Socioeconômicos.....	45
4.1.2 Legislação e Planos Setoriais Pertinentes	48
4.1.3 Geologia	50
4.1.4 Clima	53
4.1.5 Hidrografia e Hidrologia.....	56
4.2 Locais Propícios à Implantação de SBN.....	60
5 CONCLUSÕES	68
REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

Em 2015, os 193 Estados-membros da Organização das Nações Unidas (ONU) firmaram um pacto global para enfrentar os principais desafios vivenciados mundo afora. Este pacto resultou na edição de um documento intitulado “Transformando o Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável” (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2022), no qual são apresentados 17 objetivos para o desenvolvimento sustentável (figura 1). Estes 17 objetivos são desdobrados em 169 metas. Dos 17 objetivos, pelo menos quatro possuem uma ou mais metas associadas a sustentabilidade no meio urbano, os objetivos número seis, onze, treze e quinze.

Figura 1 – 17 objetivos do desenvolvimento sustentável.



Fonte: Nações Unidas Brasil (2022).

O objetivo seis, que trata de “assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos” tem uma meta estabelecida para “apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento” (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2022). Já o objetivo onze, que visa “tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis” tem pelo menos oito metas associadas à urbanização sustentável e inclusiva e resistente às mudanças climáticas.

A meta de “reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima e às catástrofes naturais em todos os países”, pode ser

associada às cidades, uma vez que a maior parte da população mundial hoje vive em ambientes urbanos (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2022). Esta meta está proposta no objetivo número treze, que propõe “Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos”. O objetivo quinze, que trata da proteção, recuperação e uso sustentável dos ecossistemas terrestres, possui outras duas metas que podem ter aplicação também em ambientes urbanos. Estas metas estão associadas à conservação e recuperação de ecossistemas terrestres e de água doce e seus serviços e integração destes aos planejamentos e de desenvolvimento nacionais e locais.

As cidades enfrentam uma variedade de desafios sociais, econômicos e ambientais que devem ser exacerbados pelo aumento da urbanização e pelos impactos das mudanças climáticas (HORN; XU, 2017). Várias cidades ao redor do mundo sofrem com problemas associados à natureza, como inundações, alagamentos, ilhas de calor urbano, entre outros (DREY; DARONCO, 2013; HORN; XU, 2017; UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME, 2018; SCHELL et al., 2020). Nature (2017) afirma que assim como os desafios que a sociedade enfrenta continuam a crescer, também cresce a necessidade para estratégias multidisciplinares e baseadas em evidências científicas para enfrentar estes problemas. Entre os problemas citados estão a proteção dos mananciais de água, a perda de habitat e a adaptação às mudanças climáticas.

Uma forma de atingir pelo menos parte destas metas da ONU para o contexto urbano, a fim de resolver ou pelo menos mitigar estes problemas, é através da utilização de soluções baseadas na natureza (SBN). O conceito central das SBN, segundo Nesshöver *et al.* (2017), tem uma conexão explícita com os pilares do desenvolvimento sustentável, ao colocar as dimensões sociais, ambientais e econômicas no mesmo nível de importância. As SBN podem oferecer um caminho de transição para uma economia sustentável, uma vez que a natureza não é vista somente como uma fonte de matérias primas para temporariamente aliviar uma crise econômica, mas de forma a inspirar mais soluções econômicas sistêmicas (MAES; JACOBS, 2017).

Embora o conceito que as SBN representam seja de importância vital e urgente, não há atualmente uma definição única e universalmente aceita para as SBN (NATURE, 2017). A International Union for Conservation Of Nature (2016) define as SBN como ações para proteger, gerenciar de forma sustentável e restaurar

ecossistemas naturais ou modificados que abordem os desafios sociais de forma eficaz e adaptativa, proporcionando simultaneamente o bem-estar humano e os benefícios da biodiversidade.

A Comissão Europeia (EUROPEAN COMMISSION, 2022) define as SBN como soluções inspiradas e apoiadas pela natureza, que são economicamente viáveis, fornecem simultaneamente benefícios ambientais, sociais e econômicos e ajudam a construir resiliência. Nesta mesma linha, Maes e Jacobs (2017), definem as SBN como qualquer transição ao uso dos serviços ecossistêmicos com diminuição do uso de capital natural não renovável e aumento do investimento em processos naturais renováveis.

Nesshöver *et al.* (2017) afirmam que apesar do conceito de SBN não ser claramente definido, elas estão relacionadas ou sobrepostas a outros conceitos definidos e usados para informar a gestão de ecossistemas para benefício socioambiental, embora essas relações raramente sejam reconhecidas explicitamente. As SBN seriam, portanto, a aplicação ou maximização de um ou mais processos naturais para benefício social e ambiental de uma determinada população e local.

Os serviços ecossistêmicos, por sua vez, são definidos por Ecosystem Millennium Assessment (2005) como os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas, o que inclui os serviços de fornecimento de comida, água, madeira e fibras; serviços de regulação do clima, inundações, doenças, resíduos e qualidade da água, serviços culturais que provêm benefícios recreacionais, estéticos e espirituais, e serviços de suporte como formação de solo, fotossíntese e ciclagem de nutrientes. Maes e Jacobs (2017) citam que a pesquisa acerca de serviços ecossistêmicos conecta a ecologia com o bem-estar humano e a economia, pois classifica e estuda os benefícios que as pessoas recebem destes ecossistemas.

Do ponto de vista ecológico, Nesshöver *et al.* (2017) afirma que as SBN também oferecem oportunidades para encorajar a integração de metas ambientais em setores da política, negócios e práticas que tradicionalmente não consideram ou valorizam o meio ambiente, podendo fortalecer o potencial da sustentabilidade no processo de tomada de decisão. É uma chance para a ciência da sustentabilidade obter mais reconhecimento na política e na elaboração de projetos (NESSHÖVER *et al.*, 2017).

Nesta linha de pensamento, a União Européia pretende investir substancialmente em SBN para enfrentar os desafios socioeconômicos do século 21 através do programa Horizon 2020. Este programa, segundo Maes e Jacobs (2017), prevê a implementação de programas piloto e projetos de demonstração de SBN em larga escala, com a finalidade de que devem manter ou aumentar a produção de bem-estar a custos mais baixos e potencialmente gerar novos empregos.

Na China, o governo lançou um programa ambicioso adotando o conceito de “cidades esponja”, que prevê que 80% da área urbana construída do país seja transformada até 2030 (XU; HORN, 2017). O programa se baseia na utilização de uma combinação de SBN e infraestrutura convencional para reter o escoamento superficial das águas pluviais para usos eventuais (UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME, 2018). Para acelerar esse processo, 30 cidades-piloto, incluindo Pequim, Shenzhen, Wuhan e Jinan, foram selecionadas para receber assistência financeira e técnica para redesenhar suas áreas urbanas de forma sensível à água (XU; HORN, 2017).

No Brasil, não existem políticas públicas em larga escala para a utilização destes dispositivos. Apesar das áreas urbanas do país sofrerem com diversos problemas associados à drenagem urbana, quase a totalidade dos sistemas de drenagem utilizados são de infraestrutura convencional de afastamento rápido das águas pluviais. Seguindo os exemplos europeu e chinês, as SBN poderiam ser implementadas em conjunto com o sistema de drenagem pluvial convencional, desde que adaptadas à realidade socioambiental local, o que varia bastante dentro do território brasileiro.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo identificar oportunidades de implantação de dispositivos de SBN associados à interceptação, retenção e infiltração de águas pluviais para controle de inundações. Para atingir este objetivo, será realizado um estudo de caso em uma sub-bacia hidrográfica predominantemente urbana na cidade de Santa Rosa, localizada no noroeste do estado do Rio Grande do Sul. A finalidade da pesquisa é contribuir para a disseminação dos benefícios e oportunidades de utilização das SBN na drenagem urbana.

1.1 Delimitação do Tema

As SBN podem ser utilizadas para várias finalidades e gerar diversos co-benefícios tanto em zonas urbanas quanto rurais. Este trabalho aborda a implementação de SBN aplicadas à drenagem urbana em áreas públicas e protegidas por lei em uma sub-bacia hidrográfica predominantemente urbana. A escolha por analisar uma bacia hidrográfica se deu em função dos aspectos hidrológicos, uma vez que atividades desenvolvidas em qualquer local da bacia influencia a vazão do curso d'água (CARVALHO, 2020; TUCCI, 2012) e porque a Lei nº 9.433 de 1997 (BRASIL, 1997), a chamada Lei das Águas, institui a bacia hidrográfica como unidade territorial para planejamento das políticas públicas que envolvem as águas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste estudo foi identificar oportunidades para a implantação de soluções baseadas na natureza na drenagem pluvial da zona urbana do município de Santa Rosa/RS, com vistas à mitigação dos efeitos de inundações e alagamentos.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atender o objetivo geral proposto para o estudo, pelo menos três objetivos específicos foram estabelecidos, são eles:

- a) Delimitar e caracterizar a área de estudo, definida como a sub-bacia hidrográfica do Arroio Pessegueirinho, com o levantamento de dados gerais existentes acerca da situação socioeconômica, legislativa e ambiental do município;
- b) Sistematizar quais soluções baseadas na natureza relacionadas a sistemas de drenagem urbana existentes e descritas na literatura melhor se adaptam aos aspectos socioambientais de Santa Rosa;

- c) Identificar os locais mais propícios no contexto da área de estudo para a implantação de SBN relacionadas à drenagem urbana.

1.3 Justificativa

As cidades contemporâneas enfrentam uma diversidade de desafios. Entre os principais desafios estão as mudanças climáticas, que no Brasil, segundo Christofidis (2019), vêm intensificando as chuvas, e que, aliadas ao processo de urbanização sem planejamento, são identificadas como as causas de enchentes frequentes e outros desastres. Os sistemas tradicionais de drenagem urbana mostram-se ineficientes para o transporte do volume excedente de água (CHRISTOFIDIS, 2019). Pörtner *et al.* (2022) projetam impactos associados às mudanças climáticas de nível baixo até alto para cidades e infraestrutura na América Latina.

Girardin *et al.* (2021) concluíram que as SBN podem ter um papel poderoso na redução das temperaturas a longo prazo e fornecem benefícios de mitigação reais, mas limitados, em curto prazo. Também segundo estes autores, as SBN devem ser projetadas para a longevidade, pois têm potencial de sumidouro de carbono a longo prazo, além dos impactos na biodiversidade, equidade e metas de desenvolvimento sustentável. Para Frantzeskaki (2019), os investimentos e esforços no avanço e atualização das infraestruturas urbanas para lidar com as pressões das mudanças climáticas e mudanças demográficas exigem abordagens mais holísticas que incluam a natureza na equação. As SBN são fortes candidatas a soluções para redesenvolvimento e avanço da infraestrutura urbana.

Como o carbono pode ser sequestrado em plantas e no solo e as SBN incorporam os benefícios destes, facilitam o sequestro de carbono e contribuem para melhorar a qualidade do ar, ao removerem alguns poluentes deste meio. Segundo UNEP-DHI *et al.* (2014), a quantidade reduzida de escoamento de águas pluviais no sistema de drenagem provocada pelas soluções de infraestrutura verde, minimiza a quantidade de água que requer tratamento, reduzindo assim o consumo de energia e os custos de fornecimento, ao mesmo tempo em que aumenta os benefícios da qualidade do ar.

O aumento da erosão e da sedimentação nos cursos d'água podem ser outros problemas comuns às cidades contemporâneas. Transporte de sedimento em

cursos d'água não é necessariamente um problema, a menos que ocorram processos erosivos nestes (THOMSEN *et al.*, 2020). Outro problema associado a isto é o assoreamento dos cursos d'água e a contaminação das águas via sedimento. Apollonio *et al.* (2021) verificaram um declínio de material erodido ao aplicar uma SBN em encostas, quando comparado ao solo descoberto.

Conforme Pörtner *et al.* (2022), é esperado que o volume e a intensidade de chuvas em muitas partes do mundo se acentuem. Com isso, cidades com deficiências na drenagem urbana tenderão a sofrer mais com inundações bruscas. Segundo Goerl e Kobiyama (2005), as inundações bruscas consistem no rápido aumento na elevação da água de um curso d'água com transbordamento das margens deste. Ocorrem repentinamente, com pouco tempo de alarme e alerta para o local de ocorrência e no tempo próximo ao momento da ocorrência do evento que as causam. Ainda segundo Goerl e Kobiyama (2005), por elas se desenvolverem bruscamente, geralmente atingem as áreas susceptíveis a elas de surpresa, não permitindo, na maioria das vezes, que os moradores tomem os devidos procedimentos para se protegerem ou salvarem os seus bens

Conforme Federal Emergency Management Agency (1981), as inundações bruscas geralmente resultam da combinação de intensa precipitação, inclinações íngremes, pequena bacia de drenagem e alta proporção de superfícies impermeáveis. No entanto, por causa da intensa urbanização ocorrida principalmente nas últimas décadas, cidades de médio e grande porte, independente da declividade, vêm possuindo locais de ocorrências de inundações com maior velocidade (GOERL; KOBİYAMA, 2005). Inundações bruscas causam problemas para a infraestrutura, para a segurança e a saúde das pessoas. A intensidade dos impactos sobre a saúde da população depende da intensidade do evento e do grau de vulnerabilidade a que ela está sujeita (CHRISTOFIDIS, 2019).

Restaurar uma floresta próxima a um curso d'água, por exemplo, pode reduzir inundações, melhorar o armazenamento de carbono e melhorar a pesca (GIRARDIN *et al.*, 2021). Além disso, a transpiração da água das plantas fornece um fluxo significativo de água para a atmosfera e a infraestrutura verde das SBN pode fornecer interceptação e armazenamento de chuva na fonte e pode reduzir a poluição difusa ao aumentar a retenção de sedimentos (XING *et al.*, 2017).

Segundo Xing *et al.* (2017), a vegetação urbana pode auxiliar na conservação de espécies nativas raras e ameaçadas de extinção e remover poluentes de várias maneiras. Os mesmos autores ressaltam ainda que a vegetação urbana é eficaz na interceptação da deriva aérea de pesticidas que, de outra forma, entrariam nos cursos de água, aumenta o conforto termal urbano e possui importantes propriedades de isolamento acústico sendo frequentemente empregada para medidas de redução de ruído nas cidades. Porém, os espaços verdes nas cidades geralmente são divididos em pequenas manchas cercadas por áreas construídas (XING *et al.*, 2017). As SBN podem ser utilizadas para conectar os espaços verdes urbanos e assim potencializar os serviços ecossistêmicos que a vegetação provém.

O investimento em infraestrutura verde pode gerar mais oportunidades para trabalhadores treinados nesta área, bem como na cadeia de suprimentos associada, incluindo viveiros, restauração ambiental, gestão e conservação (XING *et al.*, 2017). Isto geraria um impacto positivo para a economia local.

Recursos naturais e espaços abertos desempenham um papel importante nos sentimentos de apego dos residentes à sua comunidade, inclusive facilitando as interações com outros residentes (XING *et al.*, 2017). Para Campos e Castro (2017) é necessário considerar a caracterização física e socioambiental, assim como as funções ecológicas, sociais, estéticas, educativas e psicológicas destes locais que ampliam a qualidade de vida da população de seu entorno, sendo decisivos para a sustentabilidade urbana em longo prazo.

Segundo XING *et al.* (2017), em contraste com as soluções convencionais de desenvolvimento urbano, as ações baseadas na natureza oferecem simultaneamente uma ampla gama de benefícios de sustentabilidade, incluindo mitigação de ilhas de calor urbanas, maior biodiversidade, orgulho e coesão da comunidade e melhorias na saúde e bem-estar humanos. Para Mickovski (2021), o combate aos crescentes desafios das mudanças climáticas e trabalho em prol de comunidades sustentáveis e saudáveis, deve adotar a abordagem da bioengenharia do solo em infraestrutura verde e SBN, visando atingir vários objetivos do desenvolvimento sustentável da ONU.

A maioria dos problemas referentes à drenagem urbana, segundo Tucci (2005), provém de uma visão distorcida sobre o controle das águas pluviais por parte da comunidade e de profissionais, que ainda priorizam projetos localizados, sem uma visão da bacia hidrográfica, e dos aspectos sociais e institucionais

urbanos. Além disso, os impactos gerados na cidade são disseminados dentro dela, atingindo a própria população (TUCCI, 2012). Idealmente, medidas adotadas em um local não devem servir para minimizar o impacto neste levando o problema até outro local. Desta forma, o gerenciamento da drenagem urbana não deve ser executado para locais isoladamente, e sim levando em consideração toda a bacia hidrográfica em que a cidade se situa.

2 DRENAGEM URBANA E SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA

As SBN podem ter vários benefícios principais em diversas áreas, sendo um dos principais a drenagem urbana. Para a compreensão de como as SBN podem ser aplicadas na drenagem urbana é necessário entender como este campo evoluiu ao longo da história. Além disso, para a implementação das SBN é necessário instituir políticas públicas, avaliar aspectos sociais, assim como entender a engenharia e o funcionamento dos dispositivos e ações que podem ser aplicados. Esta seção aborda estas questões.

2.1 Evolução da Drenagem Urbana

O processo de urbanização traz profundas modificações no uso do solo, que por sua vez causam marcas permanentes nas respostas hidrológicas das áreas urbanizadas, apresentando os efeitos mais notáveis no aumento do escoamento superficial e na diminuição da infiltração (FONTES; BARBASSA, 2003). Frequentemente a expansão urbana ocorre ignorando o meio ambiente, e as consequências desta falta de sustentabilidade da expansão urbana, segundo Tucci (2012), têm sido a perda de mananciais, a redução da cobertura de água segura para a população, o aumento da frequência de inundações, a deteriorização da qualidade da água nos rios e a perda de qualidade de vida da população.

O processo de evolução do tratamento dado às águas urbanas pode ser dividido em 3 fases, conforme relatado por Souza *et al.* (2012) e Christofidis (2019). Segundo Christofidis (2019), a primeira fase, que é conhecida como drenagem urbana tradicional, convencional ou higienista, consiste na adoção de medidas estruturais e não estruturais, focadas na coleta e no afastamento imediato das águas pluviais. As águas pluviais são consideradas inconvenientes, inadequadas, indesejadas, prejudiciais e danosas. No início do século XX, a política de saneamento básico consistia na evacuação de efluentes urbanos o mais rápido possível para jusante na tentativa de minimizar a proliferação de doenças (SOUZA *et al.*, 2012).

Este conceito de drenagem pluvial convencional (ou tradicional) e higienista apenas transfere os problemas de contaminação e de inundações e enchentes para jusante da bacia. Christofidis (2019) relata que nessa fase houve intensa

urbanização no Brasil e muitos rios transformaram-se em canalizações ou foram retificados ou tubulados e houveram ocupações em áreas pantanosas, alagadiças e várzeas. Isto ocasionou alterações no ciclo hidrológico, aumentando o volume do escoamento superficial, acelerando e ampliando o pico de descarga superficial, diminuindo o tempo de concentração, a recarga dos aquíferos e a evaporação e aumentando a frequência e a magnitude das inundações (CHRISTOFIDIS, 2019; SOUZA *et al.*, 2012).

Neste sistema convencional, mesmo quando há tratamento de esgoto, o escoamento das águas pluviais degrada a qualidade da água, pois carrega lixo descartado incorretamente, detritos e substâncias tóxicas das estradas para os corpos d'água (MELLO *et al.*, 2020). Os sistemas de drenagem urbana tradicional são responsáveis pela geração de situações que se caracterizam pelo que ficou conhecido por privatização dos benefícios e socialização dos custos, uma vez que há necessidade de manutenções frequentes e onerosas destes sistemas (CHRISTOFIDIS, 2019), cujo custo é pago pelos municípios.

Desta forma, este modelo se mostrou insuficiente para gerenciar as águas urbanas, pois segundo Souza *et al.* (2012), tornaram-se evidentes os impactos negativos desta estratégia, especificamente a degradação dos corpos d'água receptores e os danos sociais (econômicos e culturais) provenientes das inundações. Em função disso, em países desenvolvidos, a partir da década de 1970, começou a ser posta em prática outra visão sobre o manejo das águas pluviais urbanas.

Tucci (2012) considera um marco importante dessa nova visão, a aprovação do *Clean Water Act* (Lei de Água Limpa) nos EUA. Segundo este mesmo autor, esta legislação definiu que todos os efluentes deveriam ser tratados com a melhor tecnologia disponível para recuperação e conservação dos rios e para tanto foram realizados investimentos maciços em tratamento de esgoto doméstico e industrial, recuperando em parte a qualidade da água dos sistemas hídricos.

Também se verificou que era insustentável continuar a construção de obras de drenagem que aumentassem o escoamento devido à urbanização, como a canalização de rios naturais (TUCCI, 2012). Desta forma, segundo Tucci (2012), começaram a ser utilizados sistemas de amortecimento em detrimento da canalização. A partir daí se inicia a segunda fase. Segundo Christofidis (2019), o manejo das águas pluviais urbanas passou a resgatar aspectos da dinâmica das

águas, em especial a redução do escoamento superficial, indução à infiltração e percolação das águas nos solos, manejo quantitativo, qualitativo e de regularização da oferta hídrica e a adoção de medidas de retenção de águas, incluindo obras alternativas para redução do pico de cheias e da velocidade das águas.

Nesta fase surgiram diversos conceitos relacionados à drenagem urbana, notadamente o *Best Management Practices* (BMP) e o *Low Impact Development* (LID), no Canadá e nos EUA, o *Low Impact Urban Design and Development* (LIUDD), na Nova Zelândia, o *Water Sensitive Urban Design* (WSUD), na Austrália e o *Sustainable Drainage Systems* (SuDS), no Reino Unido. Estes conceitos produziram diversos manuais que orientam ou determinam como as cidades devem planejar e executar seus sistemas de drenagem.

Passou a ser reconhecido o papel do solo e da vegetação no controle qualitativo de águas pluviais, ao promover a infiltração, a evapotranspiração e o contato da água com bactérias e plantas (SOUZA *et al.*, 2012). Segundo Fontes e Barbassa (2003), os problemas relacionados a inundações urbanas puderam ser mitigados ou evitados ao se observar como a drenagem se processa numa área urbana, incorporando esses conhecimentos desde as atividades preliminares do processo de planejamento urbano, sobretudo em termos de uso e ocupação do solo.

Esta nova visão só começou a ser adotada no Brasil a partir das décadas de 1990 e 2000 em alguns municípios maiores (SOUZA *et al.*, 2012). Muitos municípios brasileiros, especialmente os menores, ainda utilizam somente os conceitos da drenagem urbana convencional. Um marco importante na gestão das águas brasileiras, incluindo os sistemas de drenagem urbanos, foi a promulgação da Lei nº 9.433 de 1997 (BRASIL, 1997), que definiu as bacias hidrográficas como unidades de planejamento para a gestão das águas, embora não tenha gerado um manual para esta finalidade como em outros países.

A terceira fase, segundo Christofidis (2019), seria a proposta das SBN para a gestão das águas. Segundo este autor, esta fase teria se iniciado em 2018, embora o termo “soluções baseadas na natureza” tenha sido estabelecido em 2016 e já existissem dispositivos e ações que pudessem ser considerados SBN. Esse paradigma recente incentiva o ser humano a cooperar com os ecossistemas, associando as infraestruturas cinzas (obras e equipamentos) às infraestruturas verdes (CHRISTOFIDIS, 2019).

Para Christofidis (2019), esta fase se baseia no conceito de que os planejamentos urbanos sejam compatíveis com os ecossistemas e os ambientes hídricos, buscando a redução representativa dos custos e a ampliação contínua, durável e sustentável dos benefícios ambientais, sociais e econômicos. Incorpora-se o princípio da precaução, as atitudes preventivas e de proteção e o conceito de cidades resilientes (CHRISTOFIDIS, 2019).

No Brasil, ainda há pouca aplicabilidade destas soluções no processo de planejamento das cidades, ao compararmos com as cidades dos países desenvolvidos. Conforme Souza *et al.* (2012), o crescimento urbano de cidades brasileiras encontra-se ainda alicerçada na impermeabilização e canalizações artificiais, ampliando a escassez de água, as contaminações e com um baixo grau de reaproveitamento de água.

No entanto, entre alguns exemplos de aplicabilidade de algumas estratégias de sustentabilidade para a drenagem urbana nas cidades brasileiras, é possível citar o Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre, elaborado em meados dos anos 2000, que conta com um manual para orientação de novos empreendimentos. O plano se baseia nos conceitos da segunda fase da evolução da drenagem urbana.

2.2 Uso de Soluções Baseadas na Natureza em Áreas Urbanas

Conforme Horn e Xu (2017), nas últimas décadas, a substituição em larga escala de ecossistemas naturais por áreas construídas colocou as cidades e seus arredores sob crescente pressão em termos de escassez de recursos, degradação da qualidade do ar e da água, redução da disponibilidade de espaços verdes, desigualdade socioeconômica, entre outros problemas. No caminho contrário, as SBN estão sendo cada vez mais implementadas em áreas urbanas para aumentar a resiliência, apoiar o desenvolvimento sustentável e proteger a biodiversidade (HORN; XU, 2017). As SBN estão sendo adotadas como soluções para restaurar os fluxos ecológicos nas cidades e como novas soluções de infraestrutura que aumentam a resiliência (FRANTZESKAKI, 2019).

As SBN podem complementar ou fornecer alternativas às soluções antrópicas ou industriais, normalmente chamadas de soluções de infraestrutura cinza (HORN; XU, 2017; SCHAUBROECK, 2017). Segundo Horn e Xu (2017), ao contrário das opções de infraestrutura cinza de propósito único, as SBN oferecem inúmeros co-

benefícios em termos de saúde pública, coesão social, biodiversidade urbana e mitigação das mudanças climáticas. Elas teriam, portanto, o potencial de criar soluções ganha-ganha para o meio ambiente, a sociedade e a economia.

Frantzeskaki (2019) menciona a notável experiência dos jardins de chuva em Rotterdam, na Holanda, que foram projetados para se parecerem com meandros e foram bem integrados visualmente à vegetação lateral do passeio público. Outro exemplo positivo citado por Frantzeskaki (2019) é a restauração das margens do rio e do vale do Rio Slepotka na cidade de Katowice, na Polônia, que restabeleceu os habitats naturais nas margens do rio e na bacia hidrográfica em geral, com o objetivo de funcionar como uma área de retenção de água para mitigar os riscos de inundação.

Várias SBN diferentes podem ser empregadas em uma cidade e conectadas. Um exemplo disso é mencionado por Frantzeskaki (2019), um parque linear para conectar diferentes SBN para retenção de água no distrito de Sint Andries na cidade de Antuérpia, na Bélgica. A cidade de Stuttgart, na Alemanha, que é propensa ao efeito de ilha de calor urbana e à má qualidade do ar utiliza corredores de ventilação verdes para permitir que o ar fresco desça das colinas ao redor da cidade (HORN; XU, 2017).

As SBN constituem soluções de infraestrutura verde “inteligentes” destinadas a aumentar a resiliência de uma cidade em relação à redução do risco de desastres e adaptação às mudanças climáticas (HORN; XU, 2017). Também podem ser implantadas para promover processos de renovação urbana e a regeneração de áreas negligenciadas e degradadas para melhorar a habitabilidade de uma cidade (HORN; XU, 2017).

Para Maes e Jacobs (2017), incrementos relativamente pequenos de uso de sistemas urbanos baseados na natureza, por exemplo, através da implementação de telhados verdes, bolsões de natureza ou sistemas sustentáveis de drenagem urbana, têm o potencial de gerar grandes benefícios socioeconômicos. Os benefícios diretos e indiretos gerados pelas SBN provavelmente excederão os custos de implementação e manutenção, quando estes são contabilizados (HORN; XU, 2017).

Adaptar-se às mudanças climáticas e melhorar a resiliência urbana a eventos climáticos extremos e perigos naturais são objetivos estratégicos cruciais para cidades, vilas e metrópoles em todo o mundo (HORN; XU, 2017). Segundo Horn e

Xu (2017), as SBN, como telhados verdes, várzeas, espaços verdes abertos, árvores urbanas e valas de biorretenção constituem meios eficazes de enfrentar os desafios urbanos contemporâneos ao mesmo tempo que preservam a biodiversidade urbana e aumentam a atratividade e a qualidade de vida vivenciada nas áreas urbanas. As medidas incluem a conservação, restauração e gestão dos ecossistemas naturais urbanos e periurbanos e a integração de características ambientais em todo o tecido urbano (HORN; XU, 2017) e todos os tamanhos de SBN podem contribuir para cidades mais habitáveis e resilientes (FRANTZESKAKI, 2019).

Além de aumentar a resiliência urbana, as SBN vêm acompanhadas de um conjunto de co-benefícios ambientais, sociais e econômicos. Xu e Horn (2017) citam como benefícios das SBN a melhoria da qualidade do ar urbano, a regulação do microclima, o sequestro de carbono, a promoção da biodiversidade e a oferta de oportunidades de recreação, o que contrasta fortemente com as medidas de infraestrutura cinza, como esgotos, diques e paredes de concreto, que geralmente são monofuncionais. Horn & Xu (2017) citam como benefícios a promoção da biodiversidade urbana, a melhoria da atratividade de uma área, o conforto térmico, a mitigação de ondas de calor, a redução dos efeitos adversos de chuvas intensas, a remoção de poluentes das águas pluviais e o auxílio a evitar a escassez d'água.

Frantzeskaki (2019) identificou benefícios como trabalhos verdes, restauração do solo, recreação, restauração de ecossistemas, retenção de água, proteção contra inundações, regulação do calor e conforto termal, coesão social e produção de comida. Esta autora também destaca que outro elemento importante das áreas verdes urbanas públicas é como elas instigam transformações no sentido de lugar e no sentimento de pertencimento das comunidades. Frantzeskaki (2019) afirma que especialmente nos bairros carentes, os experimentos em pequena escala com SBN mostraram que a transformação das características físicas e da aparência do espaço público está associada aos benefícios percebidos que as pessoas atribuem a ele na forma de senso de lugar.

Ao contrário dos espaços verdes ecológicos de alto valor, como reservas naturais, as ações de esverdeamento urbano têm características que são influenciadas pelo ambiente construído circundante (infraestrutura cinza) e pelos sistemas sociais (XING *et al.*, 2017). Devido à sua multifuncionalidade, seu valor e seu custo relativamente baixo de implementação e manutenção, as SBN constituem

abordagens econômicas para os desafios urbanos, isoladamente ou em combinação com soluções de infraestrutura cinza (HORN; XU, 2017).

Xing *et al.* (2017) consideram que a integração de infraestruturas verdes e cinzas é fundamental para a implementação de SBN no meio urbano. Frantzeskaki (2019) demonstra e avalia experiências positivas de implementação de SBN em onze cidades europeias que consideraram SBN como alternativas à infraestrutura cinza para melhorar a robustez das infraestruturas urbanas.

Nesshöver *et al.* (2017) consideram que a implementação de SBN exige uma abordagem de pesquisa transdisciplinar que conecte profissionais, formuladores de políticas e cientistas de diferentes disciplinas e que envolva cidadãos e outros usuários e produtores de conhecimento. Para Frantzeskaki (2019), as SBN requerem colaborações de vários atores para seu design e sustentabilidade. Campos e Castro (2017) concluem que o processo de gestão pública para a conservação de áreas verdes urbanas, demanda a abordagem interdisciplinar, capaz de considerar a complexidade de fatores que concorrem para sua efetivação

Para potencializar os benefícios produzidos pelas SBN, o projeto, a implementação e a manutenção destas devem considerar diversos fatores ambientais e sociais. Nesshöver *et al.* (2017) consideram que os projetos de SBN precisam de um trabalho interdisciplinar em domínios científicos entre as ciências ecológica, sociais e a engenharia em muitos projetos de restauração. Albert *et al.* (2021) têm entendimento semelhante nesta questão. Para estes autores, a implementação da estrutura da SBN exige colaboração interdisciplinar dentro da equipe de planejamento, incluindo não apenas planejadores e ecologistas, mas também cientistas sociais para entender melhor as interações entre os sistemas humanos-ambientais acoplados e incorporar esse conhecimento na elaboração de planos.

Para Frantzeskaki (2019), a colaboração entre funcionários municipais (planejadores urbanos, oficiais) e outros atores urbanos (cidadãos, ONGs, redes de inovação social e agentes de conhecimento, incluindo cientistas) é necessária para permitir a relevância das SBN desde o projeto até a implementação e operação. Assim, os planejadores urbanos precisam pensar nos esforços colaborativos como um ato contínuo, que pode primeiro exigir um papel de liderança da cidade a ser seguido por um papel de facilitação mais tarde. Nesshöver *et al.* (2017) também mencionam o papel das ciências sociais neste processo, afirmando que estas

podem ajudar a entender o potencial e as armadilhas das SBN para melhorar o design e a compreensão geral da governança ambiental.

Para alavancar todo o seu potencial em todo o tecido da cidade, a integração de SBN precisa ser o modelo principal a ser considerado (HORN; XU, 2017). Isso requer o estabelecimento de uma base de evidências para NBS, defendendo seus benefícios públicos e envolvendo as partes interessadas para o desenvolvimento de políticas e planejamento urbano. Para Girardin *et al.* (2021), as comunidades locais precisam estar envolvidas em todas as fases do planejamento e gerenciamento do projeto.

Segundo Albert *et al.* (2021), abordagens de planejamento integrativo também devem levar em conta escalas temporais pois, muitas vezes, os efeitos do SBN podem flutuar ao longo do tempo e precisam de períodos de tempo mais longos para serem eficazes na prestação de uma gama completa de potenciais serviços ecossistêmicos e benefícios sociais quando comparado com os efeitos de soluções técnicas de engenharia rígida. Para que investidores e profissionais optem por técnicas baseadas na natureza em vez de técnicas convencionais, as escolhas e decisões devem considerar escalas temporais e espaciais maiores e integrar diversos valores (MAES; JACOBS, 2017).

XING *et al.* (2017) categoriza as iniciativas de políticas verdes em dois tipos: legislação regulatória (obrigando os setores público ou privado a plantar dentro ou ao redor de edifícios) e iniciativas baseadas em incentivos voltadas para desenvolvedores e proprietários de edifícios. Os tipos de incentivos variam e incluem empréstimos a juros baixos, subsídios de projeto e instalação, descontos de impostos e taxas e processos de aprovação de licenças acelerados. Para Girardin *et al.* (2021), as SBN precisam de financiamento público e privado. Os governos precisam recompensar a administração do ecossistema enquanto tributam os poluidores e aumentam a regulamentação para garantir que as empresas atendam a rigorosas salvaguardas sociais e ambientais.

Stuttgart, na Alemanha, possui mais de dois milhões de metros quadrados de telhados verdes que absorvem poluentes e reduzem o excesso de calor (HORN; XU, 2017). Incentivos fiscais e programas financeiros personalizados contribuíram ainda mais para a estratégia de expansão dos telhados verdes da cidade (HORN; XU, 2017). Albert *et al.* (2021) consideram que embora a implementação geralmente dependa de instrumentos informais de planejamento, a coordenação com

instrumentos formais, como planos de gestão de recursos hídricos, é necessária para aumentar a probabilidade de aceitação na tomada de decisão real.

Nesshöver *et al.* (2017) consideram cinco etapas como elementos-chave a serem abordados em projetos de SBN, em conjunto por pesquisadores e outros atores, são elas: (i) lidar com a incerteza e complexidade; (ii) garantir o envolvimento de várias partes interessadas; (iii) garantir o bom uso do conhecimento multi e transdisciplinar; (iv) desenvolver entendimento comum de soluções multifuncionais, compensações e adaptação natural e; (v) avaliar e monitorar o aprendizado mútuo.

Albert *et al.* (2017) propõem três critérios para a aplicação de SBN. Primeiro, as SBN precisam fornecer benefícios simultâneos para a sociedade, a economia e a natureza. Em segundo lugar, o termo deve ser entendido como representando um guarda-chuva transdisciplinar que abrange a experiência de conceitos existentes, como “infraestrutura verde-azulada” na engenharia, “capital natural” e “serviços ecossistêmicos” na economia e “funções da paisagem” no planejamento ambiental. Em terceiro lugar, uma SBN precisa ser introduzida gradualmente, para dar tempo para uma avaliação cuidadosa de sua aplicação em ambientes da vida real e posterior refinamento. Um exemplo de SBN que respeita esses três critérios é a restauração de várzeas para reduzir o risco de inundações a jusante.

Já Horn e Xu (2017) consideram quatro principais aspectos críticos para acelerar o processo de operacionalizar as SBN em políticas de planejamento urbano, são eles: (i) estabelecer uma base de evidências para SBN; (ii) defender as SBN, comunicando sua multifuncionalidade e capacidade de contribuir para várias arenas políticas; (iii) promover a colaboração em todo o espectro de partes interessadas e; (iv) alavancar fontes convencionais e desbloquear novos mecanismos de financiamento.

Após a implementação das SBN, autores como Nesshöver *et al.* (2017), Frantzeskaki (2019), Albert *et al.* (2021) e Wohl *et al.* (2015) consideram importante a avaliação multidimensional a longo prazo das soluções implantadas, como forma de estabelecimento de uma base de conhecimento para planejamento baseado em evidências. Neste processo, as ciências sociais podem ser úteis, oferecendo abordagens participativas de avaliação e codesenvolvimento, bem como indicadores quantitativos de bem-estar (NESSHÖVER *et al.*, 2017).

Para Nesshöver *et al.* (2017), muitos indicadores têm o potencial de serem considerados como critérios de sucesso, mas precisam estar claramente

relacionados aos objetivos específicos de "solução" em termos de aspectos biofísicos e serviços ecossistêmicos e às esferas económica e social em termos de valor, capital ou investimento/receita no sistema ou aos efeitos na saúde e bem-estar. As informações resultantes podem às vezes ser mais relevantes para políticos e tomadores de decisão, pois fornecem informações contextuais importantes sobre a dimensão humana (NESSHÖVER *et al.*, 2017).

2.2.1 Cidades esponja na China

“Cidade esponja” é o termo usado para descrever a abordagem do governo chinês para a gestão das águas superficiais urbanas, cujo conceito foi concebido em 2014 em resposta a uma incidência crescente de inundações urbanas e alagamentos nas cidades chinesas (GRIFFITHS *et al.*, 2020). Esta abordagem tem o objetivo de melhorar a disponibilidade de água nos ambientes urbanos (UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME, 2018). Até 2020, 16 cidades haviam sido incluídas no projeto piloto (UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME, 2018; GRIFFITHS *et al.*, 2020).

As áreas urbanas da China enfrentam uma miríade de problemas relacionados à água, desde inundações urbanas, redução da qualidade da água, escassez de água e subsidência do solo induzida pela extração de águas subterrâneas (XU; HORN, 2017). Griffiths *et al.* (2020) ressalta que o conceito de cidades esponja foi desenvolvido para ser apresentado como uma resposta realista ao aumento do risco de inundações urbanas e como uma oportunidade para melhorar os sistemas de drenagem urbana em todo o país.

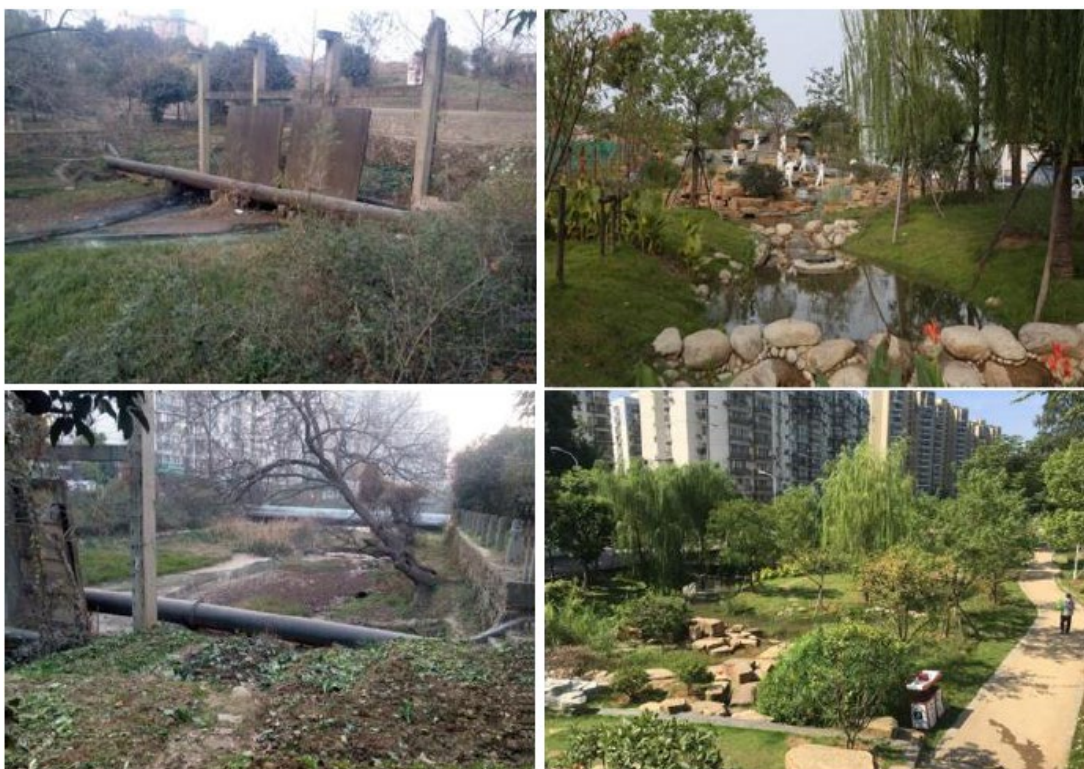
Para Griffiths *et al.* (2020), o conceito prevê uma infraestrutura de drenagem projetada para agir como uma esponja, de modo que, durante as tempestades, as superfícies da cidade absorvam o máximo de água possível, seja em solos naturais e geologia ou em áreas de armazenamento construídas para esse fim. O conceito de cidade esponja exige redesenhar as cidades de maneira ecológica e sensível à água, em linha com os princípios de LID (XU; HORN, 2017).

Para isto, conforme Xu e Horn (2017), SBN que preservam, imitam e apoiam o ciclo natural da água são implantadas em larga escala e integradas com soluções de infraestrutura cinza em todo o tecido urbano e periurbano para absorver excesso de escoamento de águas pluviais, filtrar poluentes e armazenar até 70% para

reutilização em períodos de seca. Para funcionar, o conceito precisa ser integrado nas políticas locais e planejamento urbano e financiamento adicional precisa ser garantido (XU; HORN, 2017).

Medidas concretas incluem a substituição de infraestruturas impermeáveis por telhados verdes, fachadas verdes e pavimento permeável e a revitalização de lagos e zonas úmidas degradadas para permitir a absorção do excesso de água pluvial durante as chuvas (XU; HORN, 2017). Por sua vez, jardins de chuva e biovaletas são usados para coletar o escoamento e filtrar os poluentes (XU; HORN, 2017). Parte da água purificada é então enviada de volta ao sistema natural para recarregar os aquíferos e parte é armazenada para garantir a disponibilidade de água para fins de irrigação e limpeza durante os períodos de seca (XU; HORN, 2017). Vários manuais e códigos foram publicados para auxiliar o processo de implementação (GRIFFITHS *et al.*, 2020; PENG; REILY, 2021). Um exemplo de aplicação é demonstrado na figura 2.

Figura 2 – Antes e depois da instalação do *Qingshangang Wetland Sponge Project*, Wuhan, China.



Fonte: Peng e Reily (2021).

Peng e Reily (2021) afirmam que uma análise de custos realizada pela Universidade de Leeds mostrou que o uso de medidas de cidade esponja com foco em SBN nas áreas de demonstração em Wuhan economizou cerca de 509 milhões de euros em comparação com a abordagem convencional para atualizar a drenagem baseado em infraestrutura cinza. Xu e Horn (2017) também destacam que o uso de SBN no programa chinês muitas vezes prova ser rentável, especialmente em termos de implementação.

Griffiths *et al.* (2020) destacam o exemplo do *Cicheng New District*, na cidade de Ningbo, onde o escoamento superficial foi direcionado para as bordas das ruas, em áreas de infiltração que filtram a água antes dela chegar até o aquífero freático. A drenagem dos distritos residenciais é desviada para biovaletas antes de ser descarregada a jusante. Banhados construídos foram posicionados entre as áreas residenciais e a área central para filtrar o escoamento antes que ele atinja o lago central. A água do lago será usada para irrigação do solo, descarga de banheiros e limpeza de estradas.

Outro exemplo destacado por Griffiths *et al.* (2020) é o *Yingzhou Central River Transformation*, também em Ningbo, onde houve a transformação de um canal fluvial de concreto em uma paisagem de jardim ambientalmente amigável, capaz de fornecer vários serviços ecossistêmicos. A zona ripária consistia anteriormente em uma faixa de 50 a 80 metros de largura entre a rua e a água com uma estreita faixa verde para árvores adjacentes a esses canais. A parte superior da margem do rio foi removida para proporcionar uma transição mais suave entre a terra e a água e a elevação da margem do rio também foi reduzida para que uma zona úmida pudesse ser criada.

As áreas circundantes foram desenvolvidas com pátios, áreas de pavimentação, grama nativa e cercas de bambu emolduradas que resistiriam a inundações (GRIFFITHS *et al.*, 2020). Griffiths *et al.* (2020) avaliam que este projeto representa uma abordagem eficaz para melhorar o espaço de lazer na área de desenvolvimento central, ao mesmo tempo em que melhora a resiliência às inundações.

Xu e Horn (2017) avaliam que atingir a ambiciosa meta da China em nível local exige a superação de vários desafios, pois requer repensar as áreas urbanas como sistemas complexos que estão embutidos em seus ambientes naturais. Em vez de implementar soluções isoladas, todo o tecido urbano precisa ser

redesenhado de forma ecológica e qualquer expansão futura precisa levar em consideração o ciclo urbano da água (XU; HORN, 2017).

2.3 A Vegetação e a Drenagem Urbana: Saúde e Bem-Estar Social

Os serviços ecossistêmicos fornecidos pelos espaços verdes urbanos não apenas sustentam a integridade ecológica das cidades, mas também podem proteger a saúde pública das populações urbanas (WOLCH *et al.*, 2014). Florestas e vegetação dentro e ao redor de áreas urbanas sequestram carbono, regulam o microclima, purificam o ar e reduzem o ruído urbano, além de que passar tempo na natureza e em contato direto com os elementos naturais melhora a saúde mental e o bem-estar (HORN; XU, 2017).

Wolch *et al.* (2014) fazem uma revisão detalhada dos benefícios da vegetação urbana para a diminuição da obesidade, estímulo a atividades físicas, diminuição do stress, melhoria da saúde mental e outros benefícios à saúde. Kondo *et al.* (2020) verificaram que aumentar a cobertura de copa das árvores para 30% até 2025 pode ajudar a cidade da Filadélfia a reduzir a mortalidade prematura anual em 2,9% em toda a cidade. Campos e Castro (2017) também ressaltam os benefícios dos espaços verdes urbanos para a redução de doenças e aumento da qualidade de vida da população, além da contribuição para a redução de riscos de cheias e deslizamentos.

Desta forma, programas para aumento da cobertura vegetal urbana podem ser um meio, além das medidas tradicionais, para promover a saúde pública, diminuir as desigualdades na saúde e promover a justiça ambiental (KONDO *et al.*, 2020). No entanto, conforme Campos e Castro (2017), os espaços verdes urbanos não são valorizados pelos benefícios que podem conferir, sendo negligenciados pelos governos e comunidades em geral.

Quando presentes nas cidades, as áreas verdes urbanas frequentemente não são distribuídas de forma igualitária pelo território urbano. Da mesma forma, os impactos ambientais decorrentes da urbanização. Isso levanta questões acerca do que é chamado de justiça ambiental, que seria o acesso equitativo da população de diferentes extratos socioeconômicos às áreas verdes e feições ambientais nas cidades e aos serviços ecossistêmicos que elas provêm.

As fontes de poluição do ar geralmente estão localizadas perto de bairros de baixa renda e, conseqüentemente, os residentes de baixa renda geralmente apresentam maior risco e vulnerabilidade aos poluentes do ar (SCHELL *et al.*, 2020). Cursos d'água urbanos, no entanto, atravessam e interligam áreas de alta e baixa renda, de modo que os habitats a jusante podem sofrer as conseqüências da poluição e erosão a montante (SCHELL *et al.*, 2020).

A cobertura arbórea urbana é amplamente considerada como um bem ou comodidade ambiental que decorre do fluxo direto de benefícios percebidos, ou serviços ecossistêmicos, para pessoas e bairros onde ela é encontrada (SCHWARZ *et al.*, 2015). Schwarz *et al.* (2015) verificaram que os bairros de alta renda em 7 cidades médias e grandes dos Estados Unidos são mais propensos do que os bairros de baixa renda a ter alta cobertura de copa das árvores. Na Filadélfia, segundo Kondo *et al.* (2020), o *status* socioeconômico e a cobertura arbórea urbana estão intimamente ligados, pois bairros de *status* socioeconômico mais baixo tendem a ter menos árvores ou menos vegetação do que áreas de *status* socioeconômico mais alto.

Kondo *et al.* (2020) ressaltam que iniciativas para aumento da cobertura vegetal urbana que visam bairros desfavorecidos são bem-vindas, desde que não desloquem residentes, pois podem provocar gentrificação. Schwarz *et al.* (2015) hipotetizam que a relação entre a cobertura vegetal urbana e a renda pode ser o resultado de um ciclo de *feedback* em que grandes quantidades de cobertura vegetal aumentam os valores das propriedades e atraem ainda mais as famílias com renda alta. Esse ciclo de *feedback* positivo pode apoiar a manutenção contínua da cobertura vegetal em bairros com famílias de alta renda e altos níveis de casa própria. Wolch *et al.* (2014) têm entendimento semelhante.

Da mesma forma, as áreas com baixa cobertura vegetal têm propriedades de baixo valor e os residentes podem ter menos acesso a recursos ou incentivos para aumentar os valores das propriedades porque são locatários (SCHWARZ *et al.*, 2015). Segundo Kondo *et al.* (2020), os residentes de bairros mais pobres também podem não gostar de árvores devido à ausência anterior de manutenção municipal, além dos custos de gestão e responsabilidades de segurança que podem fazer com que os moradores resistam ao plantio ou removam árvores indesejadas. Schwarz *et al.* (2015) também citam que o custo da manutenção de árvores, como limpeza de

folhas, rega e poda, é um desincentivo que pode ser particularmente grande em bairros de baixa renda.

Para promover o aumento da cobertura vegetal urbana e a população usufruir dos benefícios e amenidades que ela proporciona a uma cidade, Schell *et al.* (2020) afirma que ecologistas, biólogos e ambientalistas devem focar em aumentar as oportunidades econômicas, reforçar a infraestrutura de transporte público, investir em habitação e saúde a preços acessíveis e fortalecer os direitos de voto e acesso, questões raramente consideradas pelas principais organizações ambientais. Segundo estes mesmos autores, tais iniciativas sociais reduzem as emissões de carbono, diminuem os riscos ambientais, melhoram a saúde pública e expandem a mobilidade econômica de comunidades marginalizadas. Além disso, a realocação de fundos municipais para iniciativas que melhorem a posse de casas para comunidades minoritárias reduz o deslocamento e promove a administração local, o que, por sua vez, afeta a saúde pública e ambiental em geral (SCHELL *et al.*, 2020).

A implementação de SBN no contexto urbano pode contribuir para a justiça ambiental de uma comunidade. Para tanto, conforme Girardin *et al.* (2021), as comunidades onde as SBN serão implantadas necessitam estar envolvidas em todos os estágios de planejamento e gerenciamento. Conforme Nesshöver *et al.* (2017), o conceito de SBN deve ser visto como uma oportunidade e como um desafio, uma vez que é necessário um bom entendimento dos processos ecossistêmicos, uma diversidade de atores deve ser envolvida e um amplo conjunto de fatos e questões sociais precisam ser incluídos e integrados.

Para Wolch *et al.* (2014), uma abordagem promissora é projetar intervenções que sejam "apenas verdes o suficiente" conforme proposto por Curran e Hamilton (2012). Também segundo Wolch *et al.* (2014), a estratégia "apenas verde o suficiente" depende da disposição dos planejadores e das partes interessadas locais em elaborar projetos de espaços verdes que sejam explicitamente moldados pelas preocupações, necessidades e desejos da comunidade, em vez de fórmulas convencionais de design urbano ou abordagens de restauração ecológica.

Conforme Wolch *et al.* (2014), os planejadores que visam soluções "apenas verdes o suficiente" podem promover intervenções verdes em pequena escala e de forma dispersa pela cidade, em vez de grandes projetos de espaços verdes que concentram recursos geograficamente e iniciam processos de gentrificação. A implementação de SBN em pequena escala e de forma dispersa ou espalhada e

equitativa em diferentes bairros de diferentes extratos socioeconômicos, além de promover o acesso à natureza de maneira mais uniforme à população e evitar a gentrificação também poderia diminuir os custos para a administração municipal.

2.4 Dispositivos e Ações das Soluções Baseadas na Natureza

Existem diversos dispositivos que podem ser classificados como SBN. EUROPEAN COMMISSION (2015) indica o uso de telhados verdes, fachadas verdes e jardins de chuva em ambientes urbanos para interceptação da chuva e absorção do escoamento superficial. Já UNEP-DHI *et al.* (2014), recomenda o uso de telhados verdes e dispositivos de biorretenção e bioinfiltração, além de pavimentos permeáveis e captação de água da chuva como forma de controle do escoamento superficial em ambientes urbanos durante eventos extremos de precipitação. Para controle de inundações, esta mesma publicação indica o uso de banhados construídos, conservação de banhados e técnicas de restauração de rios. Alguns dos dispositivos e ações mais comuns serão brevemente descritos a seguir.

2.4.1 Dispositivos de Biorretenção e Bioinfiltração

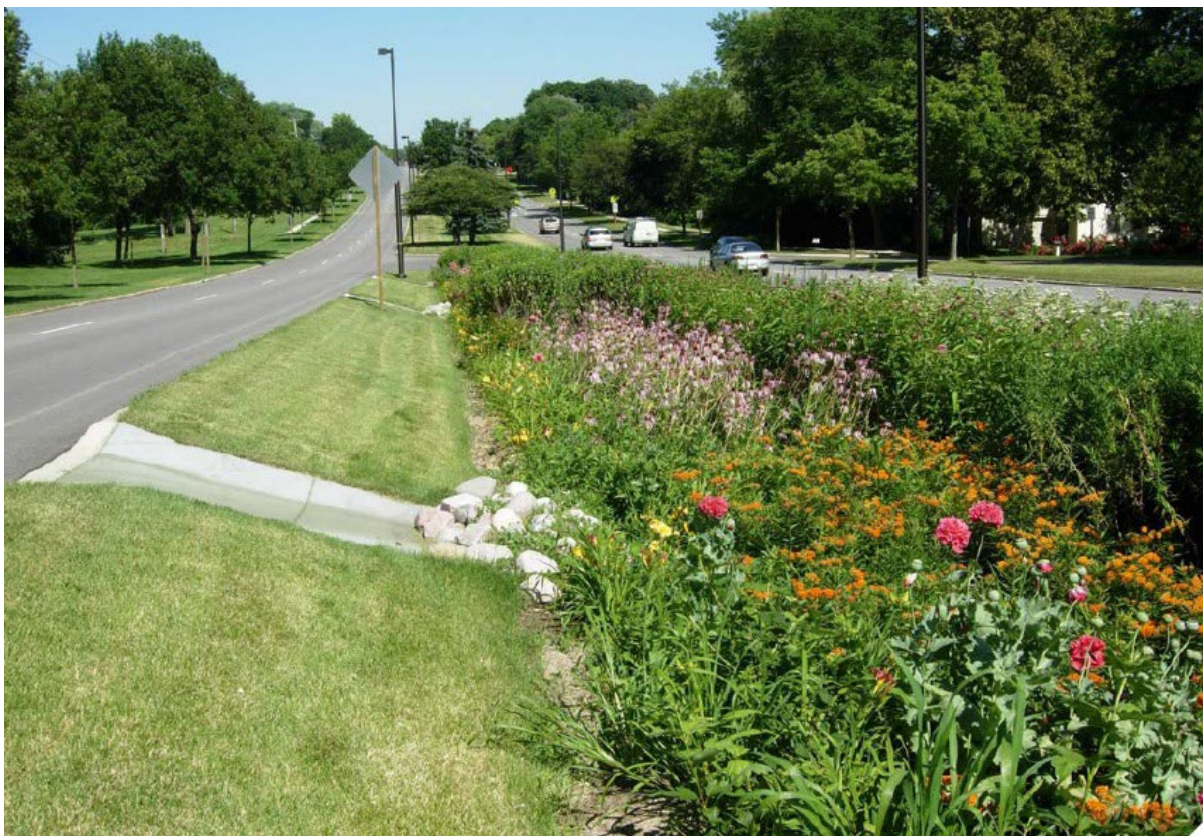
Estes dispositivos são pequenas depressões projetadas para reter, infiltrar e promover o biotratamento do escoamento superficial (GEOSYNTEC CONSULTANTS; LARRY WALKER ASSOCIATES, 2011). Os dispositivos normalmente consistem em uma área de alagamento, vegetação, solo orgânico, solo mineral e uma camada de brita ou seixo para maior armazenamento da água para infiltração (GEOSYNTEC CONSULTANTS; LARRY WALKER ASSOCIATES, 2011).

Souza *et al.* (2012) caracteriza os dispositivos de biorretenção como consistindo de uma depressão rasa com solo preparado para o plantio de uma diversidade de espécies, dimensionada para receber o escoamento de uma pequena área. Em biorretenções usualmente em formato de célula ou de valo, plantas, solo e microrganismos realizam processos físicos, químicos e biológicos removendo poluentes e controlando águas pluviais (SOUZA *et al.*, 2012). Os tipos mais comuns são as biovaletas e os jardins de chuva.

As células de biorretenção, segundo Credit Valley Conservation (2010), podem ser usadas em locais com grandes áreas de paisagismo, parques, ilhas de

estacionamento ou qualquer área sem restrições de espaço apertadas. Em alguns casos, como estacionamentos, podem estar cercadas por meio-fio (CREDIT VALLEY CONSERVATION, 2010). Também podem ser instalados em canteiros centrais de avenidas, conforme demonstrado na figura 3.

Figura 3 – Biovaleta no canteiro central de uma avenida em Greendale, Wisconsin, EUA.



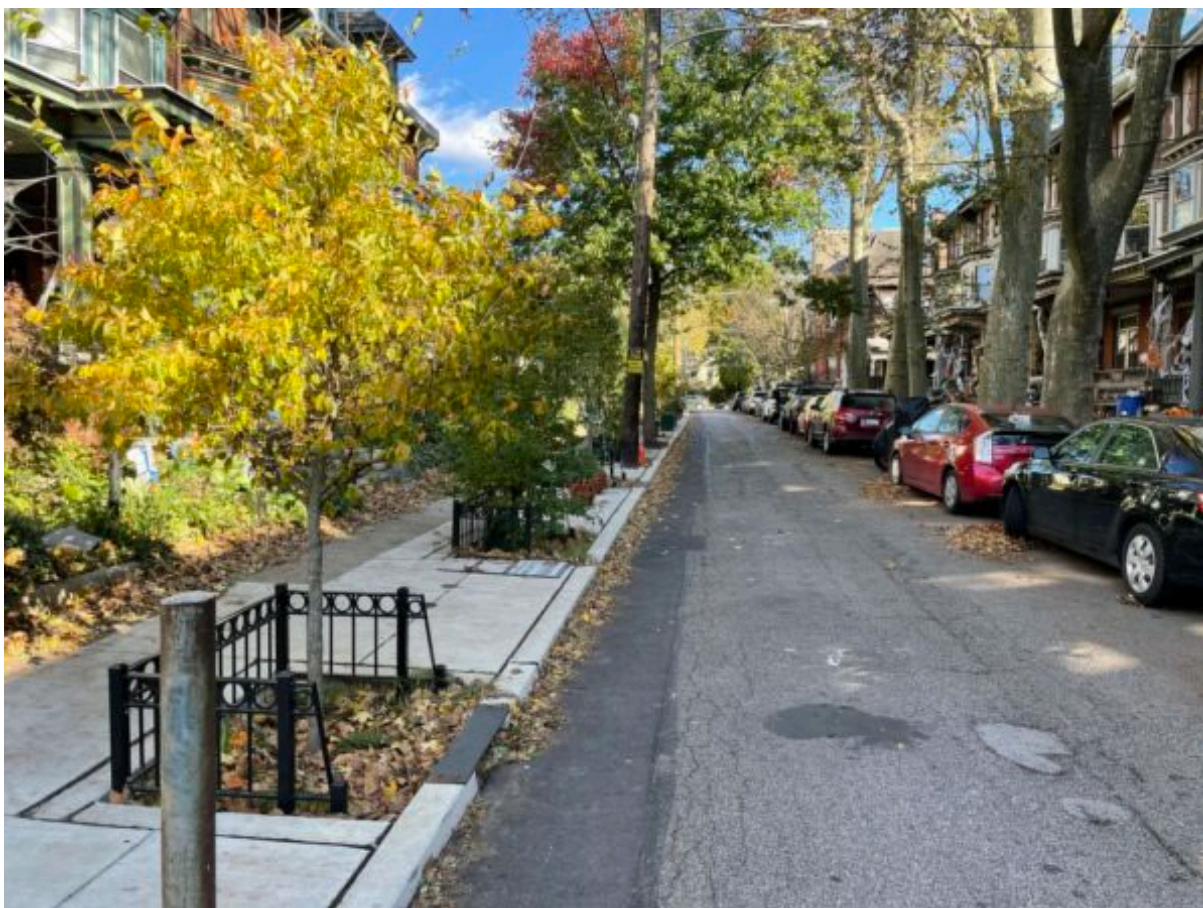
Fonte: UNEP-DHI *et al.* (2014).

Canteiros de árvores estendidos (também conhecidos como biorretenção paralela) são instalados dentro da faixa de serviço da via e aproveitam o espaço paisagístico entre a calçada e a rua (CREDIT VALLEY CONSERVATION, 2010) (figura 4). Eles podem ser projetados para tirar o escoamento da calçada ou da rua. Eles são normalmente projetados para quando estiverem cheios, as águas pluviais fluírem para o sistema de drenagem convencional da rua (CREDIT VALLEY CONSERVATION, 2010).

As biovaletas, segundo UNEP-DHI *et al.* (2014), são uma técnica de paisagismo usada para redirecionar e filtrar a poluição das águas pluviais e consistem em canais com bordas inclinadas, com vegetação, cobertura morta ou

paisagismo xeriscape no centro e porção mais baixa, geralmente projetados para gerenciar grandes quantidades de escoamento de uma área impermeável especificada, como uma avenida (figura 3). No paisagismo xeriscape, podem ser utilizadas espécies nativas de gramíneas.

Figura 4 – Canteiros de árvores estendidos na cidade de Philadelphia, EUA.



Fonte: PHILADELPHIA WATER DEPARTMENT (2022).

Conforme (UNEP-DHI *et al.*, 2014), as biovaletas podem ser instaladas próximos a áreas pavimentadas, como ruas, estacionamentos, passeios, estradas, entre outros. Esta mesma publicação, no entanto, ressalta que elas podem não ser tão adequadas para áreas urbanas de alta densidade, devido aos requisitos de espaço relativamente grandes para a superfície permeável. Sua natureza muitas vezes linear, no entanto, os torna adequados para estradas residenciais e rodovias (UNEP-DHI *et al.*, 2014).

As instalações de bioinfiltração são projetadas para infiltração parcial de escoamento e biotratamento parcial (GEOSYNTEC CONSULTANTS; LARRY WALKER ASSOCIATES, 2011). Essas instalações são semelhantes aos dispositivos

de biorretenção com drenos subterrâneos, mas o dreno subterrâneo é elevado acima do reservatório de cascalho para facilitar a infiltração (GEOSYNTEC CONSULTANTS; LARRY WALKER ASSOCIATES, 2011). Um exemplo de um dispositivo de bioinfiltração são os jardins de chuva.

Jardins de chuva são depressões paisagísticas projetadas para infiltrar e filtrar o escoamento de águas pluviais, contendo vegetação e, às vezes, uma drenagem subterrânea (UNEP-DHI *et al.*, 2014), conforme demonstrado na figura 5. São projetadas para infiltrar água da chuva, mas não para retê-la (UACDC, 2010). Conforme UNEP-DHI *et al.* (2014), os jardins de chuva são projetados para suportar grandes volumes de chuva e consequentemente escoamento de águas pluviais, bem como altas concentrações de nutrientes normalmente encontrados no escoamento de águas pluviais, minimizando a quantidade de escoamento superficial que entra no sistema de drenagem urbana convencional.

Figura 5 – Jardim de chuva em um estacionamento.



Fonte: UNEP-DHI *et al.* (2014).

Geralmente assumem a forma de bacias rasas com vegetação, propiciando a coleta da água da chuva para infiltração (UNEP-DHI *et al.*, 2014). Como o principal atributo deste dispositivo é a infiltração, há necessidade de o projeto considerar cuidadosamente a escolha de solos e plantas apropriados (UNEP-DHI *et al.*, 2014).

Para promover a infiltração, as bases destes dispositivos contêm camadas de seixos e areia. Plantas de baixa manutenção são recomendadas para jardins de chuva com base em sua adequação ao clima local, solo e condições de umidade sem o uso de fertilizantes e produtos químicos (UACDC, 2010).

Segundo, UACDC (2010), jardins de chuva são melhor aplicados em uma escala relativamente pequena e funcionam bem ao longo de passeios e em áreas baixas devendo estar localizados a pelo menos 3 metros de distância das edificações para evitar a infiltração de água nas fundações ou embaixo destas. Além disso, a localização longe de grandes árvores permite que exposição à luz solar possa auxiliar os jardins de chuva a secar entre os eventos de tempestade (UACDC, 2010).

Segundo UNEP-DHI *et al.* (2014), a principal diferença entre jardins de chuva e biovaletas é que o objetivo principal das biovaletas é transportar água de uma área para outra (muitas vezes terminando em um jardim de chuva), maximizando a quantidade de tempo que a água da chuva gasta na vala para aumentar a remoção de lodo e poluentes. Entre as semelhanças existentes, há o fato de a vegetação escolhida para ambos ser tipicamente com alta tolerância a condições úmidas, florestas urbanas e zonas úmidas (UNEP-DHI *et al.*, 2014).

Os principais benefícios do estabelecimento de áreas de biorretenção e bioinfiltração estão relacionados ao escoamento controlado e à filtragem de poluentes (UNEP-DHI *et al.*, 2014). O escoamento reduzido de águas pluviais ajuda a mitigar inundações, diminuindo o fluxo de escoamento e melhorando a recarga de águas subterrâneas por meio da infiltração aprimorada de água (UNEP-DHI *et al.*, 2014). Estudos de caso mostram uma redução de escoamento superficial de até 86% com biovaletas cobertas por grama (CREDIT VALLEY CONSERVATION, 2010).

2.4.2 Restauração de Rios

Restauração de rios é um termo geral usado para a ampla gama de ações realizadas para melhorar a função geomórfica e ecológica, estrutura e integridade de rios (BENNETT *et al.*, 2011). Wohl *et al.* (2015) afirma que essas modificações compartilham o objetivo de melhorar os processos hidrológicos, geomórficos e/ou

ecológicos dentro de uma bacia hidrográfica degradada e substituir elementos perdidos, danificados ou comprometidos do sistema natural.

Conforme Wohl *et al.* (2015), a restauração de rios passou para a vanguarda da ciência aplicada aos recursos hídricos nos últimos 50 anos, aumentando a conscientização pública sobre os rios como ecossistemas complexos nos quais intervenções humanas cuidadosamente projetadas podem potencialmente restaurar processos ambientalmente benéficos e comunidades aquáticas e ribeirinhas.

Dois maneiras de se restaurar rios são através da reconexão e da reconfiguração. A primeira, segundo Wohl *et al.* (2015), normalmente envolve a remoção ou adaptação de infraestrutura que havia sido instalada anteriormente para limitar a interação entre rios e suas planícies de inundação, como, diques, canais ou edificações, ou para desconectar fluxos longitudinais, como barragens. Em contraste, os esforços de reconfiguração visam alterar a estrutura física do rio ou sua zona ribeirinha por meio de remodelação, replantio ou reconstrução (WOHL *et al.*, 2015).

Embora o exemplo do Rio Cheonggyecheon, nas Coreia do Sul, possa ser considerado o mais famoso da restauração de um rio, um projeto que merece destaque é o do Te Auaunga Awa (Oakley Creek), em Auckland na Nova Zelândia. Otter (2020) descreve este projeto como tendo sido inicialmente concebido como uma resposta de engenharia para a mitigação de águas pluviais e inundações, mas, em resposta à consulta pública, evoluiu para uma transformação do curso d'água, com a remoção do canal de concreto e implementação de um canal mais largo e naturalizado e revitalização de espaços públicos e parques circundantes, conforme pode ser observado na figura 6.

A restauração do Te Auaunga Awa (Oakley Creek) se trata de um projeto de reconfiguração. Holmes (2020) destaca que a restauração previne inundações em quase 200 residências ao mesmo tempo que se implantaram parques ao longo do curso d'água. Otter (2020) verificou altos níveis de uso e forte apoio público para a obra de restauração do Te Auaunga Awa (Oakley Creek).

Vegetação ripária é essencial para manter cursos d'água e bacias hidrográficas saudáveis (UACDC, 2010). Segundo UACDC (2010), entre 50% e 85% dos poluentes do escoamento superficial podem ser filtrados na vegetação ripária com largura entre 30 e 90 metros e esta é mais efetiva quando combinados com

outros dispositivos de atenuação de fluxo dentro da bacia hidrográfica a fim de evitar fluxos de alta velocidade até elas.

Figura 6 – Vista de parte da restauração do Te Auaunga Awa (Oakley Creek), Auckland, Nova Zelândia.



Fonte: Holmes (2020).

Segundo Christofidis (2019), na situação em que se encontram os corpos hídricos urbanos atualmente, devem-se ampliar e agilizar o alcance dos propósitos de reabilitação, restauração, despoluição, revisão, de renaturalização, revitalização, remediação e de reconhecimento e reidentificação de cursos de água que perderam suas identidades e se tornaram verdadeiras valas condutoras de resíduos. A simples recomposição da vegetação ripária, que no Brasil é protegida pela Lei nº 12.651 de 2012 (BRASIL, 2012), é uma medida relativamente fácil de ser implementada e barata que melhora a qualidade da água e estabiliza as margens dos cursos d'água, evitando erosão e assoreamento.

2.4.3 Corredores Verdes Urbanos

Os espaços verdes referem-se a áreas de terra parcialmente ou totalmente cobertas por grama, árvores ou outro tipo de vegetação (UNEP-DHI *et al.*, 2014). Ao conectar os espaços verdes no ambiente urbano, têm-se os corredores verdes urbanos, os quais mantêm um fluxo de nutrientes, recursos naturais e *habitat* através da cidade (UACDC, 2010). Estes podem englobar a vegetação ripária, parques, praças, canteiros na infraestrutura viária e quaisquer espaços abertos sem edificações e com vegetação. Hortas urbanas comunitárias também podem ser incluídas nos corredores urbanos. As hortas urbanas aumentam a soberania alimentar local, aumentam a coesão social, oferecem oportunidades de aprendizado e contribuem para a biodiversidade urbana (HORN; XU, 2017).

Estes locais são relevantes para um contexto urbano, pois ajudam a lidar com o escoamento de águas pluviais na presença de grandes áreas de superfícies impermeáveis (UNEP-DHI *et al.*, 2014). Árvores reduzem o volume do escoamento superficial através da interceptação e da evapotranspiração. Desta forma, o plantio de árvores no ambiente urbano pode contribuir para evitar o sobrecarregamento do sistema de drenagem urbana em períodos de precipitação intensos. A implantação adequada da arborização urbana também reduz ruídos e funciona como uma barreira para pedestres contra o tráfego de veículos (UACDC, 2010). Outros benefícios podem incluir a melhoria estética da paisagem, a diminuição de ilhas de calor urbano e o bem-estar da população.

Corredores verdes são essenciais para o tratamento em larga escala do escoamento superficial e controle de inundações, agindo como vegetação amortecedora e bacias de inundação a fim de minimizar o dano à infraestrutura (UACDC, 2010). Também preservam e restauram a natureza em ambientes urbanos e tem a habilidade de revitalizar espaços urbanos (UACDC, 2010).

Horn e Xu (2017) relatam a experiência da cidade chinesa de Guangzhou, a qual possui uma rede abrangente de corredores verdes que fornece infraestrutura segura para uso recreativo e de deslocamento, promovendo estilos de vida saudáveis e incentivando uma mudança modal do uso do carro para o ciclismo e a caminhada. Segundo estes mesmos autores, a criação dos corredores também aumentou o turismo e estimulou a economia local, uma vez que seus vários corredores conectam a maioria dos locais culturais e históricos, museus e

instalações recreativas de Guangzhou. Refletindo a atratividade de morar perto de espaços verdes abertos, os valores das propriedades adjacentes aumentaram em até 30% (HORN; XU, 2017).

2.4.4 Telhados Verdes

Telhados verdes compreendem os telhados de edificações total ou parcialmente cobertos com vegetação (UNEP-DHI *et al.*, 2014) (figura 7). Este dispositivo capta a precipitação que incide diretamente no telhado, sendo que a maior parte da água armazenada é evapotranspirada e o excesso é drenado para o sistema de drenagem convencional. O restante do que fica armazenado durante a chuva drena vagorosamente para o sistema de drenagem convencional. Segundo Foster *et al.* (2011), telhados verdes podem reduzir em até 30% o escoamento superficial de chuvas de grande intensidade e até 90% o de chuvas de baixa intensidade (até 25 mm). Já UACDC (2010) indica que eles podem reter entre 60% e 100% da água da chuva que incide sobre o telhado.

Figura 7 – Telhado verde na cidade de Chicago, EUA.



Fonte: UNEP-DHI *et al.* (2014).

Além dos benefícios diretos na drenagem urbana, como a redução de enchentes, inundações, alagamentos e enxurradas e consequente diminuição da erosão em cursos d'água e redução da demanda de infraestrutura de drenagem a

jusante, os telhados verdes também podem produzir outros benefícios. Entre estes estão o aumento e preservação da biodiversidade; aumento do valor estético da edificação; melhoria da qualidade do ar; redução da poluição sonora; absorção de carbono; redução do efeito de ilha de calor urbano; redução no consumo de energia da edificação para regulação da temperatura interna; aumento da longevidade da estrutura do telhado (menor exposição a temperaturas extremas e tempestades) e diminuição da carga de nutrientes no escoamento superficial (CREDIT VALLEY CONSERVATION, 2010; UACDC, 2010; Foster *et al.*, 2011; UNEP-DHI *et al.*, 2014).

3 METODOLOGIA

Este trabalho utilizou abordagens qualitativa e quantitativa em um estudo de caso único (YIN, 2015). A principal finalidade foi identificar locais com características urbanísticas e ambientais propícias para a implementação de SBN visando a interceptação, retenção e/ou infiltração de águas pluviais com vistas ao controle de vazões de pico durante eventos de chuva intensa. Para isto, foi realizada uma revisão bibliográfica e análises geoespaciais em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). A revisão bibliográfica transcorreu durante todo o desenvolvimento do trabalho e foi direcionado aos temas de drenagem urbana e SBN aplicadas em contextos urbanos.

Para todas as análises foram utilizados dados geoespaciais, tais como curvas de nível, geologia e hidrogeologia regionais, pedologia, entre outros. Para a análise e integração destes dados geoespaciais foram utilizados os softwares ArcGIS (ESRI, 2018) e QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2022).

A área de estudo foi delimitada como sendo a sub-bacia do Arroio Pessegueirinho em Santa Rosa/RS. Trata-se de uma bacia majoritariamente inserida em zona urbana onde estão concentrados os principais problemas associados à inundações e alagamentos deste município (DREY; DARONCO, 2013; SANTA ROSA, 2017b; SANTA ROSA, 2021a). A partir da identificação da área da sub-bacia, a análise ocorreu nas áreas públicas existentes e protegidas por lei no interior desta. Foram avaliados somente espaços públicos, como vias de circulação, passeios, praças, parques e áreas de preservação permanente, as quais possuem restrições legais de uso e ocupação (BRASIL, 2012).

Inicialmente, foi realizada a caracterização socioeconômica, legislativa e ambiental do meio físico do município de Santa Rosa e da sub-bacia do Arroio Pessegueirinho. As legislações e planos setoriais foram obtidos junto ao site do município e os demais em bibliografias científicas e relatórios, documentos e bancos de dados de órgãos públicos. A caracterização socioeconômica foi feita com base na legislação municipal e dados do último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), realizado em 2010.

Foram analisadas as principais leis de ordenamento do território municipal quanto a determinações acerca da drenagem pluvial e da utilização de SBNs. Na falta de menções específicas ao termo “soluções baseadas na natureza”, procurou-

se por conceitos nos quais as SBNs pudessem estar inseridas. A caracterização ambiental buscou informações sobre questões do meio físico que possuem interferência na implementação de SBN voltadas para a drenagem pluvial, tais como geologia, hidrologia, pedologia e clima. O objetivo da caracterização foi verificar se as características ambientais do meio físico locais permitem a implantação de SBN e, em caso positivo, em que circunstâncias.

Especificamente, foi verificado se o clima justifica a utilização. Quanto à geologia, foi avaliada as características da rocha e dos aquíferos na área, e especialmente a profundidade, textura e permeabilidade do solo. Foram considerados favoráveis solos com profundidade mínima de 2 metros e distância mínima até a zona saturada também de 2 metros.

Estas metragens foram consideradas favoráveis pois a ABNT NBR 13969:1997 (ABNT, 1997) considera que deve haver uma espessura de solo de pelo menos 1,5 metros entre o fundo de dispositivos para disposição final de efluentes sanitários e a zona saturada, a fim de permitir a infiltração adequada das águas residuais. A escavação para implantação de um jardim de chuva ou de uma biovaletas teria cerca de 0,5 metros, o que totaliza os 2 metros considerados.

Também foram considerados adequados solos com permeabilidades superiores a 10^{-6} cm/s, consideradas como de solo permeáveis por Terzaghi e Peck (1967). Foi estabelecido também um limite superior de permeabilidade de 10^{-2} cm/s, pois solos muito permeáveis podem facilitar a contaminação da água subterrânea.

Para avaliação da textura, profundidade e permeabilidade do solo, foram utilizados os dados das sondagens realizadas no município entre os anos de 2016 e 2022, compiladas pela Seção de Licenciamento Ambiental da Secretaria de Meio Ambiente do Município de Santa Rosa. Toda descrição de sondagem apresentada a este setor nos laudos geológicos ou outros estudos que continham essa informação, dentro de um processo de licenciamento ambiental no período supracitado foi adicionada a um banco de dados georreferenciado contendo a descrição textural e as profundidades dos horizontes de solo e rocha, entre outras informações.

No ambiente SIG, também foram gerados novos dados, tais como a demarcação do perímetro da sub-bacia, o traçado das vias, o uso do solo e a demarcação de praças e parques na área de estudo, os quais foram feitos desenhando-se linhas ou polígonos sobre imagem de satélite datada de 16 de setembro de 2022 e obtida no software Google Earth Pro (GOOGLE, 2022). A

nomenclatura das vias foi obtida no sistema de georreferenciamento do município (SANTA ROSA, 2021d).

Para verificar se os as vias públicas existentes permitem a implantação de SBN, foi feita uma análise espacial no SIG gerado. As vias principais definidas no Plano Diretor Municipal (SANTA ROSA, 2017a) e as avenidas foram analisadas individualmente. Já as vias locais e coletoras foram analisadas em conjunto, de acordo com as especificações do Plano Diretor Municipal.

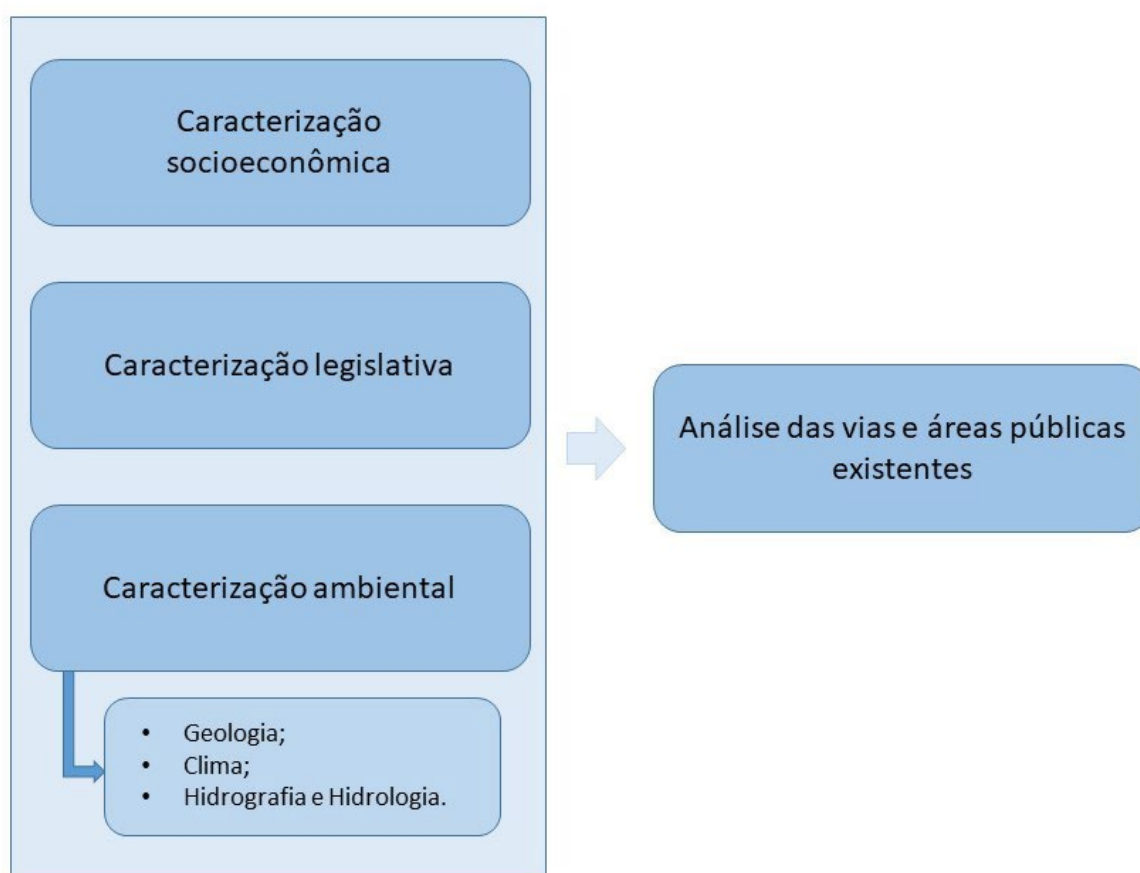
Para quantificar as áreas potencialmente adequadas para a implantação de SBN, as rotatórias, parques e praças existentes foram demarcadas no SIG e sua área total medida utilizando-se a ferramenta de medição de área na tabela de atributos do ArcGIS. O comprimento dos passeios largos o suficiente para que fosse instalada alguma SBN na interface entre a via e o passeio também foi medida através desta ferramenta. A largura considerada suficiente para que fosse instalada alguma SBN na interface entre a via e o passeio foi de no mínimo 3 metros, a fim de permitir um tráfego seguro de pedestres (GEOSYNTEC CONSULTANTS; LARRY WALKER ASSOCIATES, 2011) e para que as edificações nos lotes privados não sofram danos estruturais (UACDC, 2010).

A área dos canteiros centrais de avenidas e vias principais foi medida multiplicando-se o comprimento pela largura média destes ao longo de cada via que possui canteiro central, ambas medidas pela ferramenta manual de medição de área do ArcGIS. A largura total média das avenidas e vias principais e de seus passeios públicos também foi medida por esta ferramenta, medindo-se a largura em pelo menos cinco pontos divididos em comprimentos equivalentes. Foi feita a média destas cinco medições registrando-se os valores máximos e mínimos.

Os cursos d'água foram demarcados a partir de dados geoespaciais compilados pela Seção de Licenciamento Ambiental da Secretaria de Meio Ambiente. Onde o mapeamento estava incompleto, foi feito o desenho manual sobre a imagem de satélite datada de 16 de setembro de 2022 e obtida no software Google Earth Pro (GOOGLE, 2022) e do mapa base existente no software ArcGIS (ESRI, 2018). Para auxiliar o desenho, foram utilizados dados geoespaciais de Hasenack e Weber (2010) e de curvas de nível geradas a partir do modelo digital de elevação TanDEM-X (TerraSAR-X add-on for Digital Elevation Measurements) do Centro Aeroespacial Alemão (DLR) (DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT, 2020) no software QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2022).

A partir do mapeamento dos cursos d'água, foram geradas as áreas de preservação permanentes (APPs), de acordo com a Lei nº 12.651 de 2012 (BRASIL, 2012). Estas foram geradas através da ferramenta *buffer* do ArcGIS. A largura das APPs em toda a bacia foi de 30 metros, uma vez que a largura da calha do leito regular de todos os cursos d'água na área de estudo é inferior a 10 metros. O processo metodológico é demonstrado de forma simplificada no fluxograma da figura 8.

Figura 8 – Fluxograma das etapas da metodologia.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta os resultados obtidos neste estudo, os quais foram separados em duas sub-seções, seguindo o fluxograma definido na metodologia. A primeira se refere à caracterização socioambiental da área, que buscou verificar se esta possui aptidão para a implementação de SBN que funcionam com interceptação, retenção e infiltração de águas pluviais. Já a segunda sub-seção aborda a identificação e quantificação de locais em espaços públicos que seriam propícios para a implantação destes dispositivos.

4.1 Caracterização da Área de Estudo

Esta caracterização aborda questões sociais, econômicas, de legislação e ambientais do meio físico pertinentes para a implantação de dispositivos de interceptação, retenção e infiltração de águas pluviais. Trata-se de uma consideração preliminar utilizando dados regionais e de detalhe disponíveis para a área de estudo.

4.1.1 Localização e Aspectos Socioeconômicos

A área de estudo compreende a sub-bacia do Arroio Pessegueirinho, situada quase que inteiramente na atual zona urbana do município de Santa Rosa, no Estado do Rio Grande do Sul, conforme demonstrado na figura 9. O município de Santa Rosa está situado na latitude 27° 52' 02" S e longitude 54° 28' 32" W, a cerca de 500 km da capital do estado, Porto Alegre. Está inserido na microrregião de mesmo nome, mesorregião Noroeste Rio-grandense, sendo caracterizado como um Centro Subregional A pelo IBGE (IBGE, 2022).

O município de Santa Rosa Possui uma área territorial de 489,38 km² (IBGE, 2022), sendo que destes, 68,58 km² são considerados como zona urbana da sede pelo Plano Diretor Municipal (SANTA ROSA, 2017a), ou seja, 14% da área total. O Plano Diretor Municipal (SANTA ROSA, 2017a) considera como zonas urbanas não contíguas à sede, a Vila Sete de Setembro, com área de 1,05 km², e a Vila Bela União, com área de 1,20 km². Juntas, as três zonas urbanas somam 70,83 km², o que representa 14,47% da área territorial municipal.

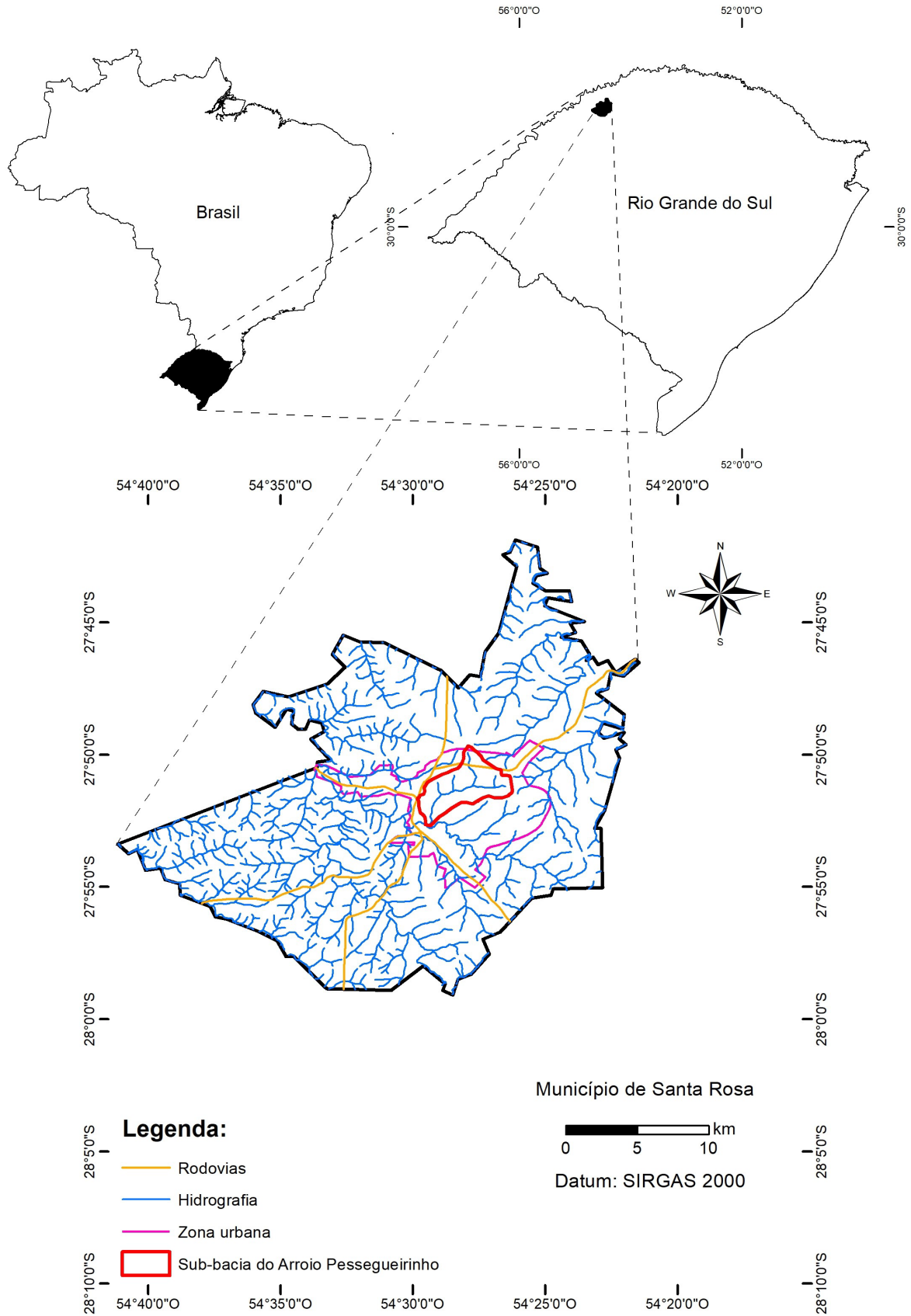
O Plano Diretor Municipal anterior (SANTA ROSA, 2006) delimitava uma zona urbana da sede do município de 40,38 km². A única zona urbana não contígua à sede era a Vila Sete de Setembro, com área de 0,53 km², totalizando uma zona urbana de 40,91 km². Apesar desta zona urbana definida em 2006 não estar totalmente urbanizada em 2017, houve um aumento de 29,92 km² na área da zona urbana. Com esta expansão, a porcentagem da área da sub-bacia do Arroio Pessegueirinho inserida em zona urbana passou de 90% para 99,4%.

A população do município de Santa Rosa em 2010, segundo o último censo do IBGE (IBGE, 2022), era de 68.587 habitantes. Conforme IBGE (2022), a projeção para 2021 era de 73.882, portanto um crescimento da população. Segundo AtlasBR (2022), entre 2013 e 2017, a variação populacional foi de 1,52%, sendo superior à estadual, de 1,42%. A densidade demográfica em 2010 era de 140,03 hab/km² (IBGE, 2022) e em 2017 de 148,54 hab/km² (ATLASBR, 2022). Isto demonstra que o município vem crescendo nos últimos anos, o que representa uma demanda também crescente por infraestrutura urbana.

Segundo o site oficial do Município de Santa Rosa (SANTA ROSA, 2022), a base da economia do município é formada pela agricultura, especialmente o cultivo da soja, a indústria metal mecânica de implementos agrícolas, de erva-mate, de farelo e óleo de soja e da construção civil. O PIB per capita em 2019 era de R\$ 45.564,15 com um salário médio mensal dos trabalhadores formais em 2020 de 2,3 salários mínimos, ocupando a posições 149 e 189 nestes quesitos, respectivamente, dentre os 497 municípios do estado (IBGE 2022). Já o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do município em 2010 era de 0,769 (IBGE, 2022), o que é considerado como elevado

O crescimento populacional e o aumento da área da zona urbana certamente terão um impacto na drenagem urbana. À medida que a área urbanizada, ou seja, impermeabilizada aumenta, aumenta também o escoamento superficial e a demanda pelos sistemas de drenagem urbana. O aumento da área da sub-bacia do Arroio Pessegueirinho que pode ser urbanizada para quase a sua totalidade tenderá a agravar os problemas de drenagem já existentes. O salário médio mensal dos trabalhadores e a posição que este indicador ocupa no ranking estadual pode indicar que pelo menos parte da população pode ser particularmente vulnerável à problemas causados por deficiências na drenagem urbana.

Figura 9 – Localização da área de estudo.



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1.2 Legislação e Planos Setoriais Pertinentes

O Plano Diretor Municipal (SANTA ROSA, 2017a), principal ato legislativo que norteia o ordenamento do território municipal, não faz menção à aplicação de SBN. Sobre a drenagem urbana, ele apenas determina que novos loteamentos devem projetar e executar as redes de drenagem. Desta forma, o conceito de drenagem pluvial praticado em Santa Rosa é o convencional sem um planejamento por bacia.

O planejamento e especialmente a execução das redes de drenagem pluvial se dão de forma fragmentada e por vezes desconexas entre um loteamento e outro contíguo. As redes existentes não dispõem de um planejamento adequado, sendo implantadas sem um rigor de critérios técnicos e metodologia padronizada, incluindo a presença de “estrangulamentos” com diâmetros inferiores a jusante (SANTA ROSA, 2021a).

Entretanto, no seu artigo 20, o Plano Diretor determina que um dos objetivos do saneamento ambiental é “utilizar soluções tecnológicas ambientalmente adequadas à promoção da sustentabilidade”. Entende-se que as SBN se enquadram como soluções tecnológicas ambientalmente adequadas à promoção da sustentabilidade e, portanto, a sua utilização no município pode ser considerada como um dos objetivos a serem alcançados no saneamento ambiental.

Outro ponto a se destacar do Plano Diretor, é a instituição do Sistema de Áreas Verdes no artigo 110. Este artigo determina que integram este sistema as áreas verdes, áreas de preservação permanentes públicas e privadas. Nas áreas públicas, integram o sistema ainda as reservas naturais, os parques públicos urbanos e naturais, as praças, os jardins e logradouros públicos, as áreas ajardinadas e arborizadas de equipamentos públicos e as áreas ajardinadas e arborizadas integrantes do sistema viário. Nas áreas privadas, também integram o sistema as áreas com vegetação significativa, as chácaras, os sítios, os clubes esportivos sociais, os clubes de campo e as áreas de reflorestamento. Apesar da Lei que instituiu o novo Plano Diretor ter sido promulgada em 2017, o município não elaborou estudo técnico para avaliação das áreas que serão efetivamente incluídas, conforme determina a própria Lei.

O Código de Obras do município (SANTA ROSA, 2010a) apenas menciona que o terreno onde se encontram as edificações deve “permitir o escoamento das águas pluviais e de infiltração dentro dos seus limites” e que “o escoamento das

águas pluviais do terreno para as sarjetas dos logradouros públicos deve ser feito através de condutores sob os passeios”. Esta lei não estabelece regramento para o sistema de drenagem em espaços públicos, somente em terrenos privados até o lançamento na rede pública.

O Diagnóstico do Plano Municipal de Saneamento Básico Participativo (SANTA ROSA, 2021a) aponta vários problemas referentes à drenagem urbana no município. Além da questão da falta de planejamento já mencionada, esta publicação cita a degradação dos cursos d’água associadas à supressão das matas ciliares, a ausência de um plano diretor de saneamento e a falta de qualificação técnica do setor de obras do Município, o qual é responsável pelo planejamento, execução e manutenção das redes. Também ressalta que “as áreas verdes dentro do perímetro urbano podem ser utilizadas como zonas de infiltração ou como redutores naturais de velocidade de escoamento”. A aplicação de algumas SBN se encaixa nesta questão.

Nas ações para emergência e contingências estabelecidas no Plano Municipal de Saneamento Básico Participativo (SANTA ROSA, 2021b) consta na fase preventiva, entre outras recomendações, a remoção da população de áreas críticas e a regeneração de margens de corpos hídricos. A regeneração de margens de corpos hídricos pode ser entendida como um processo de revitalização de rios (BENNET *et al.*, 2011; WOHL *et al.*, 2005; WOHL *et al.*, 2015).

Já na fase de prognóstico, ações e metas para os serviços de saneamento (SANTA ROSA, 2021c), onde são avaliadas as ações que haviam sido propostas na primeira versão do Plano de Saneamento do município, elaborado no ano de 2010, consta que a ação de “incentivar e regular na legislação municipal a adoção de medidas de baixo impacto visando o controle de parcela de águas pluviais na fonte (valas e/ou trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis, telhados verdes, entre outros)” não foi realizada.

No documento referente à fase de prognóstico, ações e metas para os serviços de saneamento (SANTA ROSA, 2021c) também consta que a ação de contratar Plano Diretor de Drenagem Pluvial já teria sido realizada. No entanto, o município não dispõe de um plano diretor para a drenagem pluvial, apenas o “Estudo de concepção de manejo de águas pluviais e drenagem urbana no município de Santa Rosa – RS” (SANTA ROSA, 2017b), que não pode ser entendido como um

plano diretor, uma vez que não regulamenta a execução de todos os serviços relativos à drenagem pluvial do município.

O Plano de Mobilidade Urbana de Santa Rosa (SANTA ROSA, 2010b), identificou uma série de inadequações nos passeios da zona urbana do município, entre elas passeios com larguras variáveis, ausência de critérios de arborização urbana, implantação de vegetação de forma desordenada, locação de mobiliário urbano sem critério de planejamento e bocas de lobo no alinhamento do percurso de pedestres. Este plano recomenda que a faixa de serviço dos passeios tenha uma largura mínima de 0,7 metros. Na faixa de serviço pode ser instalada vegetação.

O “Estudo de concepção de manejo de águas pluviais e drenagem urbana no município de Santa Rosa – RS” (SANTA ROSA, 2017b), denominado de “Plano de Drenagem Urbana” pelo município, não indica a adoção ou sequer cita SBN ou quaisquer outros pequenos dispositivos que possam ser disseminados pela cidade. Este estudo foca em grandes obras de engenharia que demandam um investimento grande e pontual, como bacias de detenção e retenção, remoção e reassentamento de residências e obras de canalização nos cursos d’água.

O Plano estratégico de desenvolvimento da Região Fronteira Noroeste 2015-2030 (COREDE FRONTEIRA NOROESTE, 2017) menciona apenas que projetos de saneamento básico, que incluem a drenagem urbana, visam “dotar a região de infraestrutura voltada ao desenvolvimento proporcionando competitividade, resolutividade e melhoria nas condições de vida para a população da região” (COREDE FRONTEIRA NOROESTE, 2017). Não há detalhamento deste projeto.

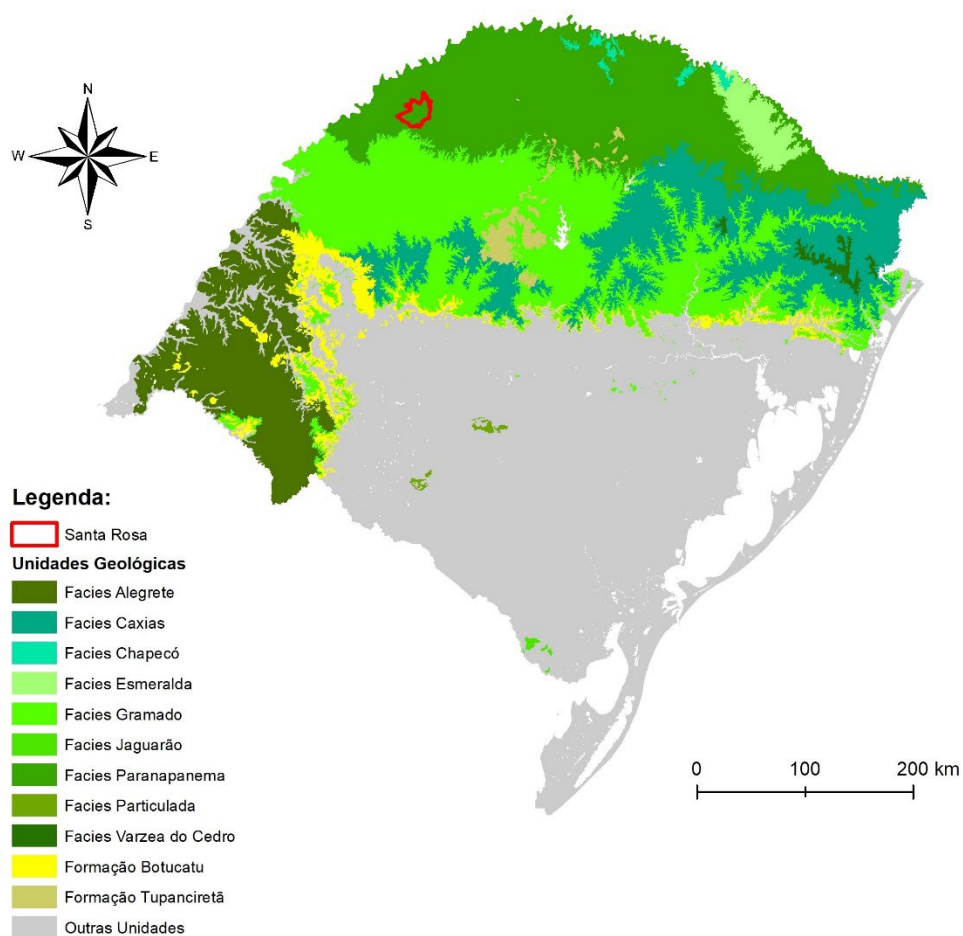
Apesar da legislação municipal e dos planos setoriais municipais e regionais não mencionarem especificamente o termo “soluções baseadas na natureza”, há espaço para a aplicação destas. O sistema de áreas verdes instituído no Plano Diretor poderia abrigar SBN em seu escopo. Da mesma forma, a regeneração das margens dos corpos hídricos e a adoção de medidas de baixo impacto visando o controle de parcela de águas pluviais na fonte, previstas no Plano de Saneamento, podem ser realizadas através de SBN.

4.1.3 Geologia

A litologia aflorante no município de Santa Rosa pertence a Formação Serra Geral (WILDNER *et al.*, 2008). A Formação Serra Geral faz parte da Bacia do

Paraná e recobre a maior parte da metade norte do Rio Grande do Sul (Figura 10). É composta por rochas vulcânicas, cujo magmatismo, segundo Wildner (2004), teria ocorrido no período entre 138 e 125 Ma, apresentando um pico bem definido entre 133 e 129 Ma. Pinto *et al.* (2011), utilizando o método U-Pb, identificaram que o pico do vulcanismo teria ocorrido em aproximadamente 135 Ma. O evento magmático ocorreu, portanto, no Cretáceo inferior.

Figura 10 – Localização do município de Santa Rosa em relação à Formação Serra Geral no Rio Grande do Sul (unidades verdes).



Fonte: Adaptado de Wildner *et al.* (2008).

Além do Rio Grande do Sul, os derrames vulcânicos da Formação Serra Geral também recobrem uma extensa área em outros estados do Brasil e também na Argentina, no Uruguai e no Paraguai e, segundo Frank *et al.* (2009), ocupam uma área de 917.000 km² de extensão com um volume de rochas de pelo menos 600.000 km³. Na estratigrafia da Bacia do Paraná, a Formação Serra Geral está sobreposta

aos arenitos eólicos da Formação Botucatu e, por sua vez, é sobreposta pelas rochas sedimentares do grupo Bauru.

Quanto a litologia, a Formação Serra Geral é constituída predominantemente por basaltos, com ocorrências de andesitos, riolitos e riolitos. De acordo com Roisenberg e Viero (2000), na base da seção estratigráfica com frequência ocorrem lentes de arenitos eólicos, demonstrando o caráter intermitente do vulcanismo. A região noroeste do Rio Grande do Sul apresenta falhas e fraturas predominantemente orientadas nas direções sudeste-noroeste (SE-NW) e sudoeste-nordeste (SW-NE) (WILDNER *et al.*, 2008).

Conforme o Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul (WILDNER *et al.*, 2008), o município de Santa Rosa situa-se na área de cobertura da *fácies* Paranapanema (figura 10). A *fácies* Paranapanema é constituída por derrames basálticos granulares finos, melanocráticos, contendo horizontes vesiculares espessos preenchidos por quartzo (ametista), zeólitas, carbonatos, seladonita, cobre nativo e barita (WILDNER *et al.*, 2008).

O município de Santa Rosa está situado na unidade geomorfológica do Planalto Meridional. Na região específica do município são verificadas áreas planas, colinas e morrotes com cotas topográficas variando de 140 a 380 metros, conforme os dados de Hasenack e Weber (2010). Com base nestes mesmo dados, foi possível classificar o relevo da sub-bacia do Arroio Pessegueirinho como suavemente ondulado, ou seja, as declividades médias verificadas estão entre 3% e 8%.

De acordo com o Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul (TRAININI *et al.*, 2005), o município de Santa Rosa está localizado sobre os sistemas aquíferos Serra Geral I e II. A mesma publicação caracteriza o sistema aquífero Serra Geral I, o qual ocorre na área da sub-bacia de estudo, por litologias basálticas amigdaloides e fraturadas capeadas por espesso solo avermelhado. Existem poços não produtivos próximos de poços com excelentes vazões, predominando poços com capacidades específicas entre 1 e 4 m³/h/m e com salinidades baixas.

A vulnerabilidade regional do aquífero pode ser considerada como baixa, em função do espesso solo de textura fina que o recobre e pelo semi-confinamento da rocha basáltica. IBGE (2002) e Kämpf *et al.* (2008) descrevem dois tipos de solo ocorrendo na sub-bacia do Arroio Pessegueirinho. O primeiro, um latossolo

vermelho de textura argilosa, com profundidade média superior a 2 metros, bem drenado e sem gradiente textural localizado nas cabeceiras da bacia. O segundo, localizado nas proximidades do curso d'água principal, ou seja, nas porções menos elevadas da sub-bacia, é um cambissolo háplico de textura média, com profundidade média superior a 1 metro, drenagem mediana e também sem gradiente textural.

Das 752 sondagens compiladas pela Seção de Licenciamento Ambiental da Secretaria de Meio Ambiente de Santa Rosa, 169 estão localizadas na sub-bacia do Arroio Pessegueirinho. Destas, apenas seis interceptaram o nível freático, quatro nas proximidades de uma das nascentes do Arroio Pessegueirinho, uma nas proximidades de outra nascente e a última ao lado do canal do arroio, já próximo de sua foz. As profundidades de interceptação variaram entre 1,2 e 2,5 metros.

As profundidades das sondagens variaram de 0,8 até 12,1 metros, sendo que a profundidade do solo encontrada nestas variou entre 0,4 e 10,5 metros. 112 sondagens interceptaram o horizonte de solo não saturado por pelo menos 2 metros. Das restantes, 51 sondagens encontraram apenas o horizonte de solo não saturado até o seu término, que se deu antes dos 2 metros de profundidade. A figura 11 traz a localização das sondagens e a identificação daquelas que satisfazem o quesito de profundidade não saturada de pelo menos 2 metros. A textura do solo descrita variou entre argilo-siltosa e argilosa.

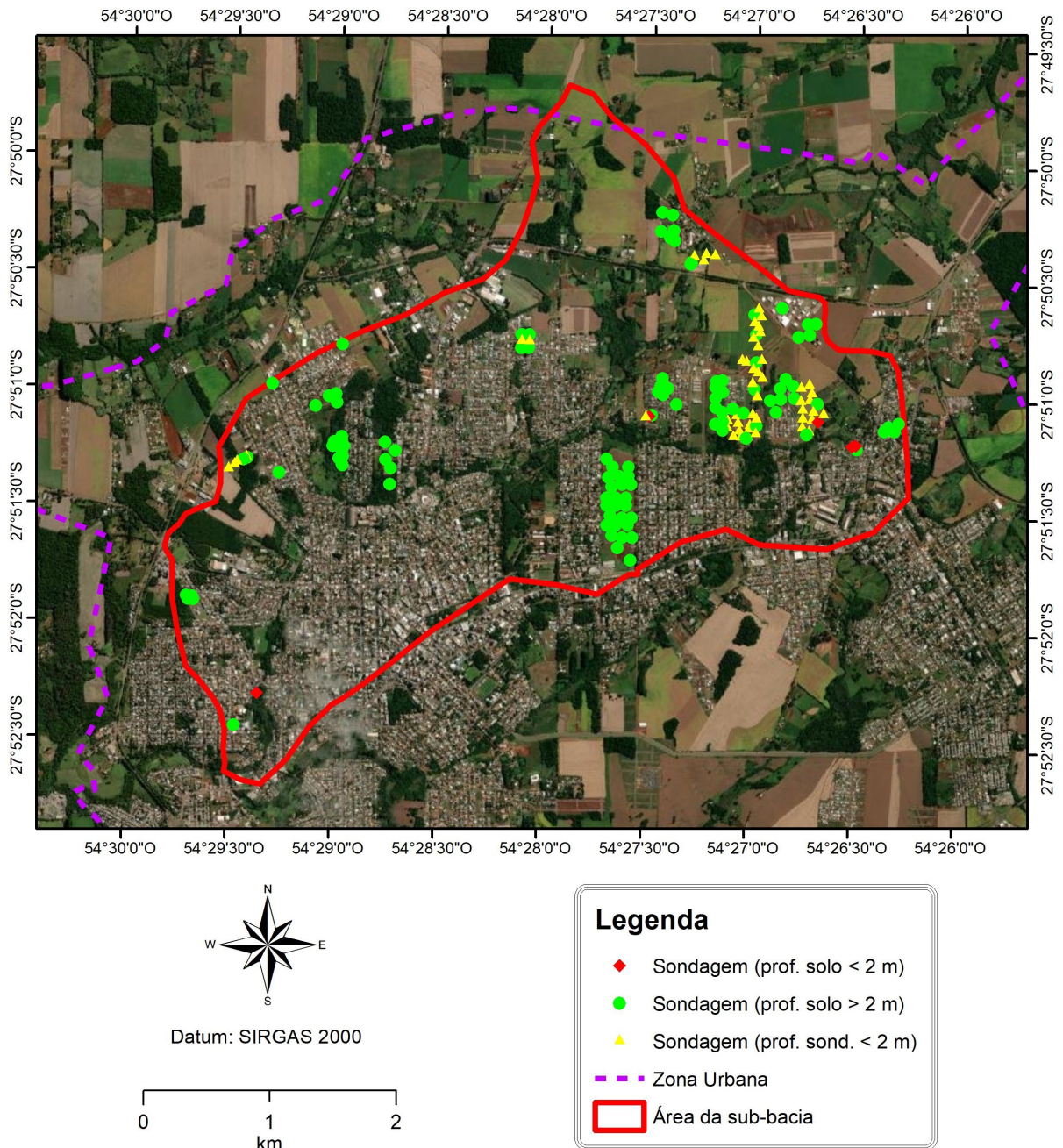
Ensaio de permeabilidade foram realizados em 134 das 169 sondagens. Os valores obtidos variaram entre $7,45 \times 10^{-4}$ e $4,1 \times 10^{-3}$ cm/s. Desta forma, todas as sondagens com ensaios de permeabilidade realizados na área de estudo obtiveram valores dentro da faixa considerada ideal, entre 10^{-6} e 10^{-2} cm/s. A declividade na sub-bacia também é relativamente baixa, o que favorece a infiltração. Sendo assim, a maior parte das sondagens realizadas na área da sub-bacia de estudo satisfaz os requisitos considerados adequados para a utilização de SBN que utilizam a infiltração de água no solo.

4.1.4 Clima

O município de Santa Rosa, segundo Moreno (1961) possui um clima classificado no sistema Köppen-Geiger como sendo do tipo Cfa – subtropical úmido, com temperaturas médias no verão em torno de 22 °C e no ano inferior a 18 °C. As

chuvas são, em geral, bem distribuídas ao longo de todos os meses do ano. O índice pluviométrico médio no período entre 1976 e 2005 foi de 1.725 mm anuais, sendo a primavera a estação mais chuvosa, com precipitação média de 499 mm, e o inverno a estação menos chuvosa, com média de 374 mm (SANTA ROSA, 2021a).

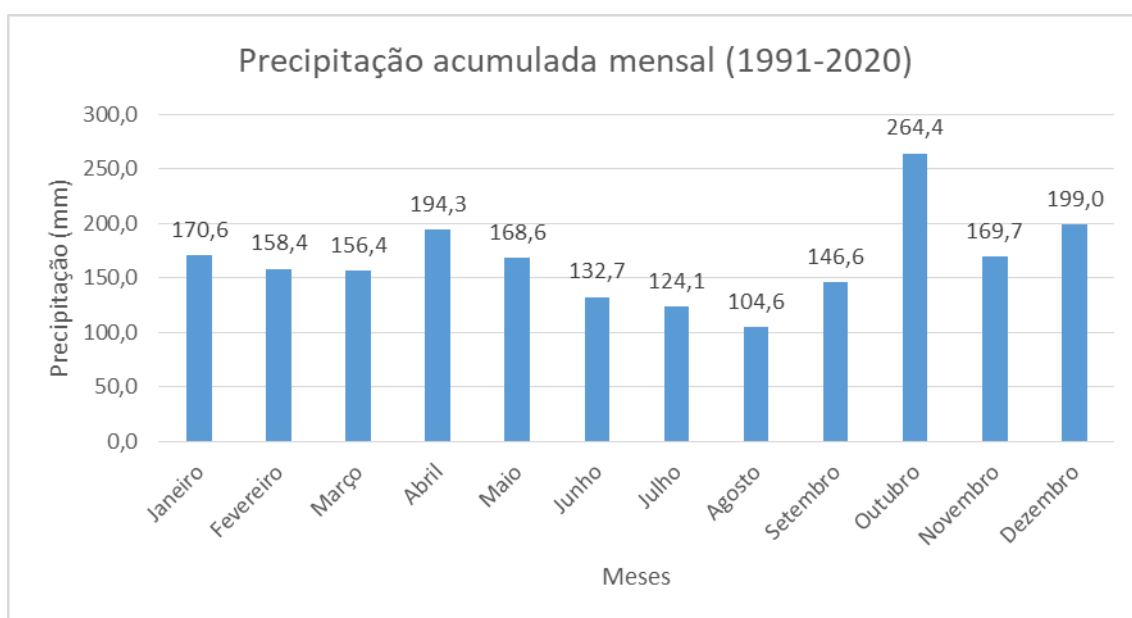
Figura 11 – Localização das sondagens e identificação das profundidades da camada de solo não saturado.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme as normais climatológicas 1991-2020 da estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de São Luiz Gonzaga, a mais próxima de Santa Rosa, ocorrem precipitações de 50 mm ou mais, em média, em 11 dias por ano e, em média, nenhum dia com precipitação de 100 mm ou mais (INMET, 2022). Mazurana *et al.* (2009) identificaram que as chuvas em Santa Rosa têm um elevado potencial erosivo, especialmente entre outubro e março. A figura 12 traz a normal climatológica da precipitação acumulada, medida na estação do INMET de São Luiz Gonzaga (mais próxima de Santa Rosa) entre os anos de 1991 e 2020.

Figura 12 – Precipitação acumulada média mensal medida pela estação do INMET de São Luiz Gonzaga entre os anos de 1991 e 2020.



Fonte: INMET (2022).

O município de Santa Rosa é afetado por dois fenômenos climáticos globais, o *el niño*, caracterizado pelo aquecimento das águas do Oceano Pacífico, e o *la niña*, caracterizado pelo efeito contrário, o resfriamento das águas do Oceano Pacífico. Em geral, no Rio Grande do Sul, o *el niño* provoca um aumento na ocorrência de chuvas em todas as estações do ano, mas especialmente na primavera, e a *la niña* provoca uma diminuição nas chuvas na primavera e início do verão (FONTANA; BERLATO, 1996; MATZENBAUER *et al.*, 2017).

Outro fator importante referente ao clima local, são os efeitos projetados das mudanças climáticas. O último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) (PÖRTNER *et al.*, 2022) indica que no sul do Brasil já

são observados aumentos na média e de precipitações extremas desde a década de 1960 e que a intensidade e a frequência de precipitações extremas devem aumentar no caso de um aumento da temperatura média global de 2°C ou mais. Também já é observado um aumento na frequência e na intensidade de eventos de calor extremo, com alta confiança da influência das ações humanas neste efeito (PÖRTNER *et al.*, 2022). Portanto, a cidade de Santa Rosa deverá ter um futuro onde as chuvas mais volumosas serão mais frequentes, demandando um sistema de drenagem urbana eficiente.

4.1.5 Hidrografia e Hidrologia

O município de Santa Rosa está inserido na Região Hidrográfica do Uruguai, fazendo parte da unidade hidrográfica Turvo / Santa Rosa / Santo Cristo (U-90) (SCHUSTER *et al.*, 2020). Os principais rios do município são o Rio Santa Rosa à leste e os Rios Santo Cristo e Amandaú à oeste. Na zona urbana, o principal rio é o Lajeado Pessegueiro, afluente da margem direita do Rio Santo Cristo. As drenagens do município apresentam um padrão dendrítico alinhadas preferencialmente nas direções SE-NW e SW-NE. Isto evidencia o controle geológico estrutural nas drenagens da região.

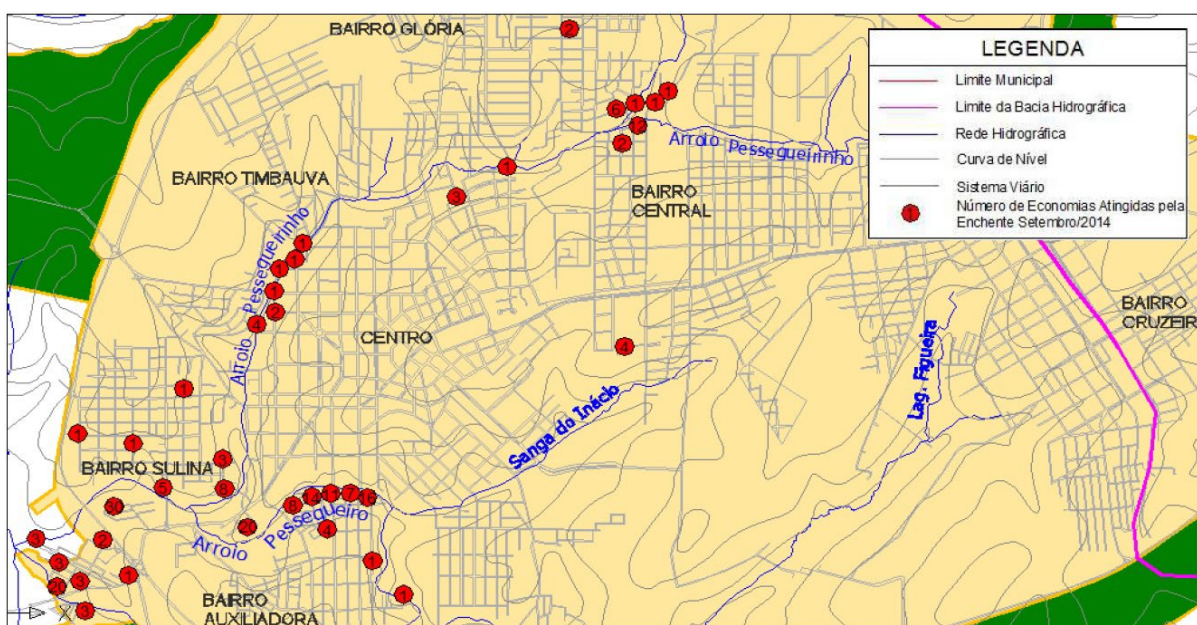
A atual zona urbana de Santa Rosa compreende total ou parcialmente nove bacias e sub-bacias hidrográficas, dentre elas a sub-bacia de Arroio Pessegueirinho, a qual possui aproximadamente 14,96 km², sendo que 99,4% destes estão inseridos na zona urbana. O coeficiente de compactidade (Kc) da sub-bacia foi calculado em 1,327 e o fator de forma (Kf) em 0,289. Ambos indicam que a sub-bacia tem pouca tendência natural à inundação.

O Arroio Pessegueirinho foi consideravelmente alterado através de canalizações, mudanças de curso, construções nas margens, travessias, entre outros. Isto acaba afetando o regime de fluxo e a funcionalidade hidrológica das áreas de várzea. Outro problema é a inexistência de cadastro topográfico das redes de drenagem, o que associado ao crescimento da cidade indica a necessidade constante de obras e ampliações de travessias e canais que compõem o sistema (SANTA ROSA, 2017b). Além dos aspectos hidrológicos e de infraestrutura, Batista e Fucks (2012) verificaram que o Arroio Pessegueirinho possui elevados índices de

contaminação microbiológica (coliformes totais e termotolerantes) oriunda principalmente de esgotos domésticos.

A zona urbana de Santa Rosa está sujeita a pequenos alagamentos e inundações bruscas, muitos associados ao Arroio Pessegueirinho (DREY; DARONCO, 2013; SANTA ROSA, 2017b; SANTA ROSA, 2021a), apesar dos fatores de forma da sub-bacia indicarem que a sub-bacia tem baixa tendência a estes eventos. Os principais locais de ocorrência de inundações são demonstrados na figura 13. A causa destas inundações pode estar relacionada à alta taxa de urbanização e ao tratamento dado às águas pluviais na sub-bacia. O uso do solo urbano atual na bacia chega a 64,4%, conforme demonstrado na tabela 1.

Figura 13 – Áreas críticas para inundações na zona urbana de Santa Rosa.



Fonte: Extraído de SANTA ROSA (2017b).

Segundo SANTA ROSA (2017b), mais de 200 famílias foram atingidas por um evento de inundação no ano de 2014 e pelo menos 456 edificações se encontram dentro da mancha de inundação para um tempo de recorrência de 25 anos, ou seja, em área de risco hidrológico. No sul do Brasil, em função do aquecimento global, as inundações tenderão a ser mais frequentes e mais intensas em função da projeção do aumento da intensidade e frequência das chuvas (PÖRTNER *et al.*, 2022). Sendo assim, é importante que as cidades se preparem para este cenário, especialmente aquelas que já sofrem com este problema atualmente, como Santa Rosa.

Tabela 1 – Uso do solo na sub-bacia do Arroio Pessegueirinho.

Uso do solo	Área (km ²)	% na sub-bacia
Urbano/industrial	9,633086	64,40%
Agricultura	2,678402	17,90%
Campo	0,904455	6,05%
Mata nativa	0,712239	4,76%
Bosques com árvores esparsas	0,623452	4,17%
Fragmentos de matas e campos	0,271191	1,81%
Silvicultura	0,136351	0,91%
Total	14,959176	100

Fonte: Elaborado pelo autor.

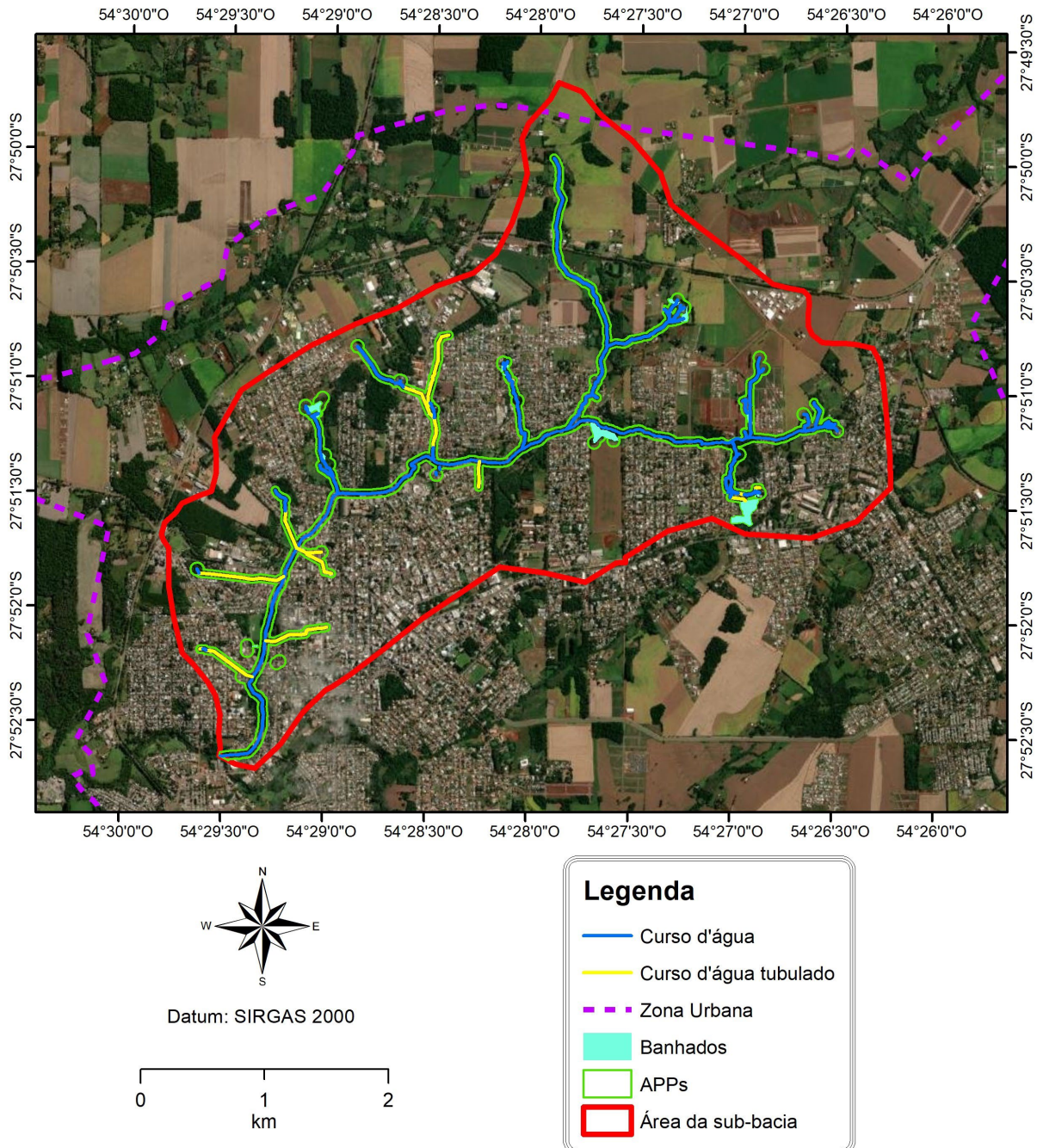
Foram demarcados 20.625,88 metros lineares de cursos d'água intermitentes e perenes na sub-bacia do Arroio Pessegueirinho. Destes, 4.260,1 metros lineares correspondem à cursos d'água tubulados e 7.255 metros ao canal principal do Arroio Pessegueirinho. Foram demarcadas ainda 0,078 km² de banhados remanescentes e algumas nascentes e olhos d'água perenes. As áreas de preservação permanentes (APPs) de todos estes corpos hídricos, excluindo-se os cursos d'água tubulados, correspondem a 1,17 km², ou seja, 7,82% da sub-bacia. Quando se considera também as APPs dos cursos d'água tubulados, a área total chega a 1,37 km² (9,16% da área da sub-bacia). Os corpos hídricos demarcados e as APPs são demonstrados na figura 14.

Dos 1,37 km² de APPs da sub-bacia, apenas 0,10 km² são cobertos por mata nativa (7,35% das APPs). O principal uso do solo nas APPs é o uso urbano/industrial, com 0,73 km² (53,34% das APPs). Os outros usos incluem bosques com árvores esparsas, com 0,24 km² (17,57% das APPs), campos, com 0,20 km² (14,65% das APPs), agricultura, com 0,072 km² (5,32% das APPs) e fragmentos de matas e campos combinados, com 0,024 km² (1,77% das APPs).

A alta porcentagem relativa ao uso do solo urbano facilita a geração de escoamento superficial, em função da impermeabilização do solo (TUCCI, 2012). Tal situação poderia ser atenuada com a instalação de SBN que facilitam a interceptação e infiltração das águas pluviais. As áreas de APPs não urbanizadas e atualmente não cobertas por mata nativa, cerca de 0,34 km², poderiam passar por processos de restauração de rios e serem posteriormente integradas a um corredor verde urbano, se adequando também à Lei nº 12.651 de 2012 (BRASIL, 2012). Porções urbanizadas das APPs sujeitas a inundações, após o reassentamento dos

moradores, também poderiam passar por processos de restauração de rios, o que aumentaria ainda mais a área sujeita à incorporação em um corredor verde urbano.

Figura 14 – Corpos hídricos e APPs demarcados na área de estudo.



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2 Locais Propícios à Implantação de SBN

Com base na caracterização socioambiental da área de estudo, é possível concluir que a sub-bacia do Arroio Pessegueirinho possui problemas associados à drenagem urbana e também aptidão para a aplicação de SBN relativas à interceptação, retenção e infiltração de águas pluviais. Esta sub-seção aborda a identificação e a quantificação de locais propícios para a implantação de SBN em espaços públicos, especificamente passeios públicos, canteiros centrais de vias, praças, parques, áreas verdes e também em áreas protegidas por lei, especificamente as APPS.

Wolch *et al.* (2014) identifica outros espaços públicos que podem ser transformados em áreas verdes, como corredores ferroviários, becos subutilizados, linhas de transportes abandonadas ou corredores de serviços públicos e áreas industriais remediadas. No entanto, nenhum destes foi considerado neste estudo pois, com exceção dos corredores ferroviários, são pouco expressivos em termos de área na sub-bacia de estudo.

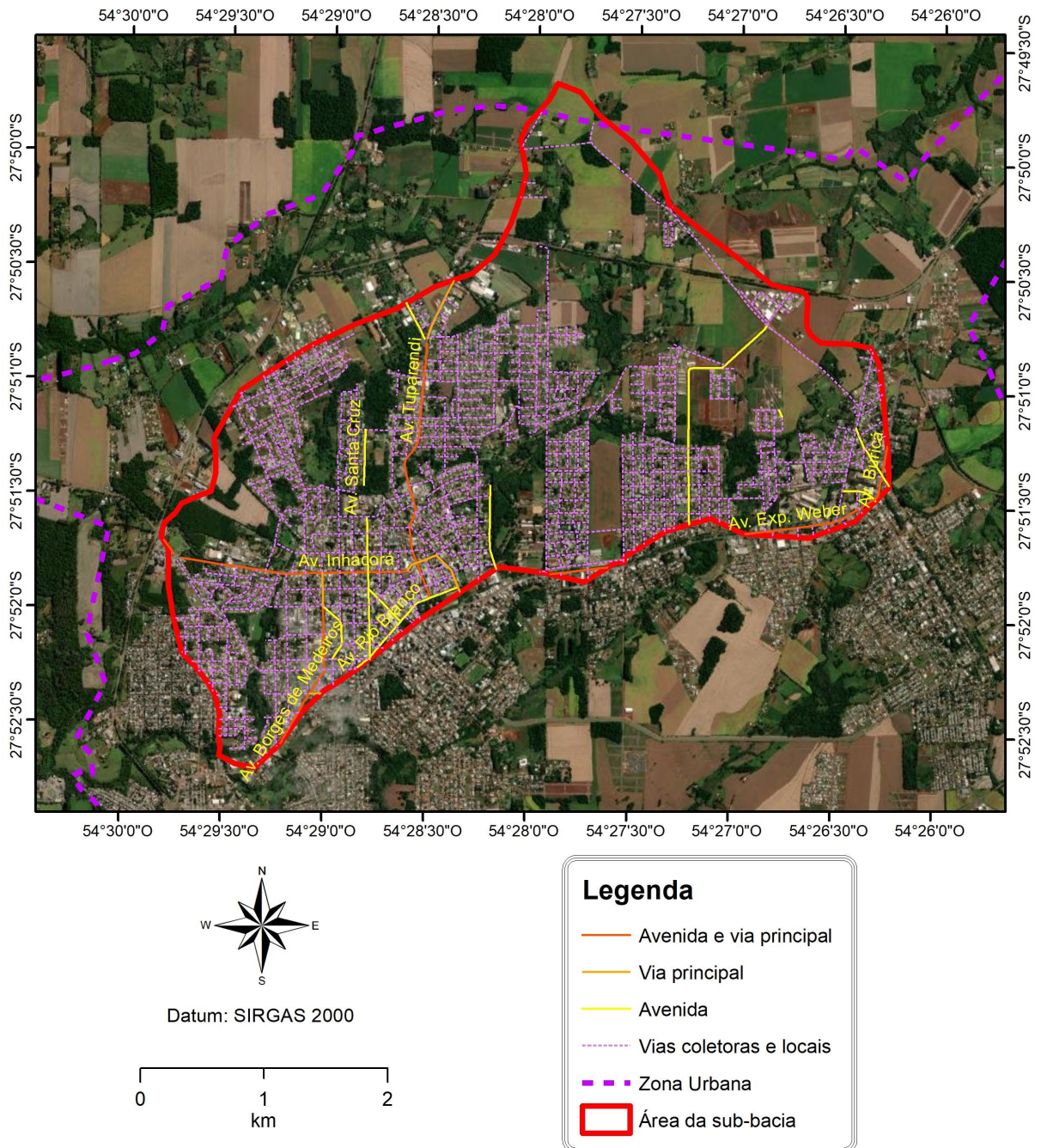
Os canteiros centrais das vias, principalmente avenidas, seriam mais aptos à implantação de biovaletas devido à sua linearidade, uma vez que estas consistem em canais vegetados que transportam, filtram e infiltram as águas pluviais. Considera-se que os canteiros de árvores estendidos (biorretenção paralela) seriam os dispositivos mais adequados para implantação em passeios públicos, devido à necessidade da descontinuidade da implantação de vegetação nos passeios por conflitos com acessos de automóveis, postes de energia elétrica, entre outras infraestruturas comumente instaladas na faixa de serviço dos passeios.

A tabela 2 traz a quantificação dos trechos das vias principais e das avenidas existentes dentro da área de estudo, bem como das áreas e porcentagens relativas à via e à sub-bacia consideradas aptas à implantação de biovaletas e de canteiros de árvores estendidos. Para calcular a área passível de implementação de SBN na faixa de serviço dos passeios públicos, foram considerados 50% da metragem linear da via como não constituindo acesso de automóveis para garagens ou outro tipo de infraestrutura para cada passeio de largura média igual ou superior à 3,0 metros e uma faixa de serviço mínima de 0,7 metros de largura.

A localização e o traçado das vias principais e avenidas é demonstrado na figura 15. A maior parte destas vias possui ambos os passeios com largura média

igual ou superior a 3,0 metros. Neste quesito, destacam-se as Avenidas Cel. Bráulio de Oliveira, Expedicionário Weber e Santa Cruz, as quais possuem as maiores áreas disponíveis para implantação de canteiros de árvores estendidos nos passeios.

Figura 15 – Traçado e hierarquia das vias públicas existentes na sub-bacia do Arroio Pessegueirinho.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 2 – Análise dos trechos das vias principais e avenidas inseridas na sub-bacia do Arroio Pessegueirinho quanto à aptidão à implantação de SBN em passeios públicos e canteiros centrais.

Nome da via	Comprimento na sub-bacia (m)	Largura média da via (m)	Área da via (m ²)	Área do canteiro central (m ²)	Larguras médias dos passeios (m)	Área apta para SBN nos passeios (m ²)	Área da via apta à SBN (m ²)	% da via apta à SBN	% da área da sub-bacia apta à SBN
Avenida América	369,96	24,30	8.990,03	0,00	3,5 e 3,85	258,97	258,97	2,88%	0,002%
Avenida Augusto Pestana	536,95	25,19	13.525,77	162,59	3,3 e 3,1	375,87	538,46	3,98%	0,004%
Avenida Benvenuto de Conti	323,11	28,30	9.144,01	0,00	3,7 e 3,5	226,18	226,18	2,47%	0,002%
Avenida Borges de Medeiros	1.210,66	29,64	35.883,96	2.117,93	3,4 e 3,6	847,46	2.965,39	8,26%	0,020%
Avenida Buricá	448,60	29,19	13.094,63	117,05	4,0 e 4,4	314,02	431,07	3,29%	0,003%
Avenida Cel. Bráulio de Oliveira	2.023,47	30,31	61.331,38	1.133,17	4,0 e 4,3	1.416,43	2.549,60	4,16%	0,017%
Avenida Expedicionário Weber	1.567,06	29,45	46.149,92	4.206,33	3,4 e 3,6	1.096,94	5.303,27	11,49%	0,035%
Avenida Flores da Cunha	293,50	22,83	6.700,60	0,00	3,5 e 3,0	205,45	205,45	3,07%	0,001%
Avenida Inhacorá	1.983,30	21,18	42.006,29	0,00	4,5 e 2,7	694,15	694,15	1,65%	0,005%
Avenida Irio Sauressig	57,05	36,00	2.053,80	380,71	3,0 e 3,0	39,93	420,64	20,48%	0,003%
Avenida Osmar Trommschlager	676,54	15,06	10.188,69	0,00	3,3 e 3,0	473,58	473,58	4,65%	0,003%
Avenida Rio Branco	1.068,33	23,91	25.543,77	1.353,23	3,3 e 3,6	747,83	2.101,06	8,23%	0,014%
Avenida Rio Grande do Sul	518,42	29,70	15.397,07	1.554,22	3,7 e 3,8	362,89	1.917,11	12,45%	0,013%
Avenida Santa Cruz	1.594,84	23,08	36.808,91	1.206,97	3,5 e 3,4	1.116,39	2.323,36	6,31%	0,016%
Avenida Tuparendi	2.136,09	22,38	47.805,69	529,20	3,8 e 2,9	747,63	1.276,83	2,67%	0,009%
Rua Henrique Gassen	525,03	24,55	12.889,49	0,00	3,4 e 5,9	367,52	367,52	2,85%	0,002%
Rua Mauá	265,63	20,26	5.381,66	0,00	3,4 e 2,9	92,97	92,97	1,73%	0,001%
Rua Santa Rosa	99,18	20,10	1.993,52	0,00	4,3 e 2,9	34,71	34,71	1,74%	0,000%
Rua Sergipe	174,03	20,20	3.515,40	0,00	2,7 e 3,0	60,91	60,91	1,73%	0,000%
Rua Teixeira Mendes	364,40	20,35	7.415,54	0,00	3,2 e 3,8	255,08	255,08	3,44%	0,002%
Travessa Eugênio Marks	106,84	30,20	3.226,57	376,18	2,5 e 3,5	37,39	413,57	12,82%	0,003%
Total	16.342,99	-	409.046,70	13.137,58	-	9.772,30	22.909,88	5,60%	0,153%

Fonte: Elaborada pelo autor.

Todas as vias principais e avenidas somadas, possuem pouco menos de 10.000 m² aptos à implantação de SBN nos seus passeios. Os canteiros centrais destas vias possuem pouco mais de 13.000 m² de área apta à implantação de SBN, embora nem todas as vias possuam canteiros centrais e algumas possuam apenas em parte de seu traçado. Neste quesito, destacam-se as Avenidas Expedicionário Weber e Borges de Medeiros com as maiores áreas disponíveis. Haveria espaço disponível para implantação de mais canteiros em algumas vias, como por exemplo a Avenida Buricá, que possui uma largura média de quase 30 metros e pouca área de canteiro central, o que pode ser visto na figura 16.

Figura 16 – Vista da Avenida Buricá.



Fonte: Do autor.

Quando se considera a área total apta à implantação de SBN nestas vias, relativas à área das mesmas situada na sub-bacia hidrográfica do Arroio Pessegueirinho, se destacam a Avenida Irio Sauressig, a Travessa Eugênio Marks, a Avenida Rio Grande do Sul e a Avenida Expedicionário Weber, respectivamente

com as maiores porcentagens. A Avenida Expedicionário, que pode ser parcialmente visualizada na figura 17, provavelmente a via mais importante da zona urbana do município, poderia servir de exemplo para as demais, uma vez que possui canteiros centrais e ciclofaixa em quase toda a sua extensão, além de passeios públicos largos no trecho que se insere na área de estudo. Outro aspecto importante é a existência de um parque linear em parte do seu trecho e em parte da área de estudo.

Figura 17 – Vista da Avenida Expedicionário Weber.



Fonte: Do autor.

Os jardins de chuva, por necessitarem de locais com menos cobertura de árvores e não necessitarem de grandes metragens lineares, foram considerados como mais apropriados para implantação nas rotatórias existentes nas vias públicas. Foram demarcados 27 rotatórias e canteiros para demarcação e orientação do trânsito na área de estudo, totalizando uma área de 2.817,62 m².

Como a maior parte das edificações no município estão localizados em propriedades privadas e a legislação veda a edificação em APPS, os telhados

verdes não foram considerados como uma alternativa viável para aplicação em espaços públicos e áreas protegidas. Os telhados verdes teriam um grande campo de aplicação quando consideradas as áreas privadas, que ocupam boa parte da zona urbana do município. Embora não seja o foco deste trabalho, a sua implementação na cidade não deve ser desconsiderada pelas autoridades municipais.

A sub-bacia do Arroio Pessegueirinho possui 122.241,85 metros lineares de vias não caracterizadas como estruturais ou avenidas. Conforme o Plano Diretor (SANTA ROSA, 2017a), todas as vias coletoras e locais devem ter um passeio mínimo de 3 metros, exceto quando em loteamentos populares ou quando em prolongamento de vias já existentes, este último devendo ser analisado caso a caso.

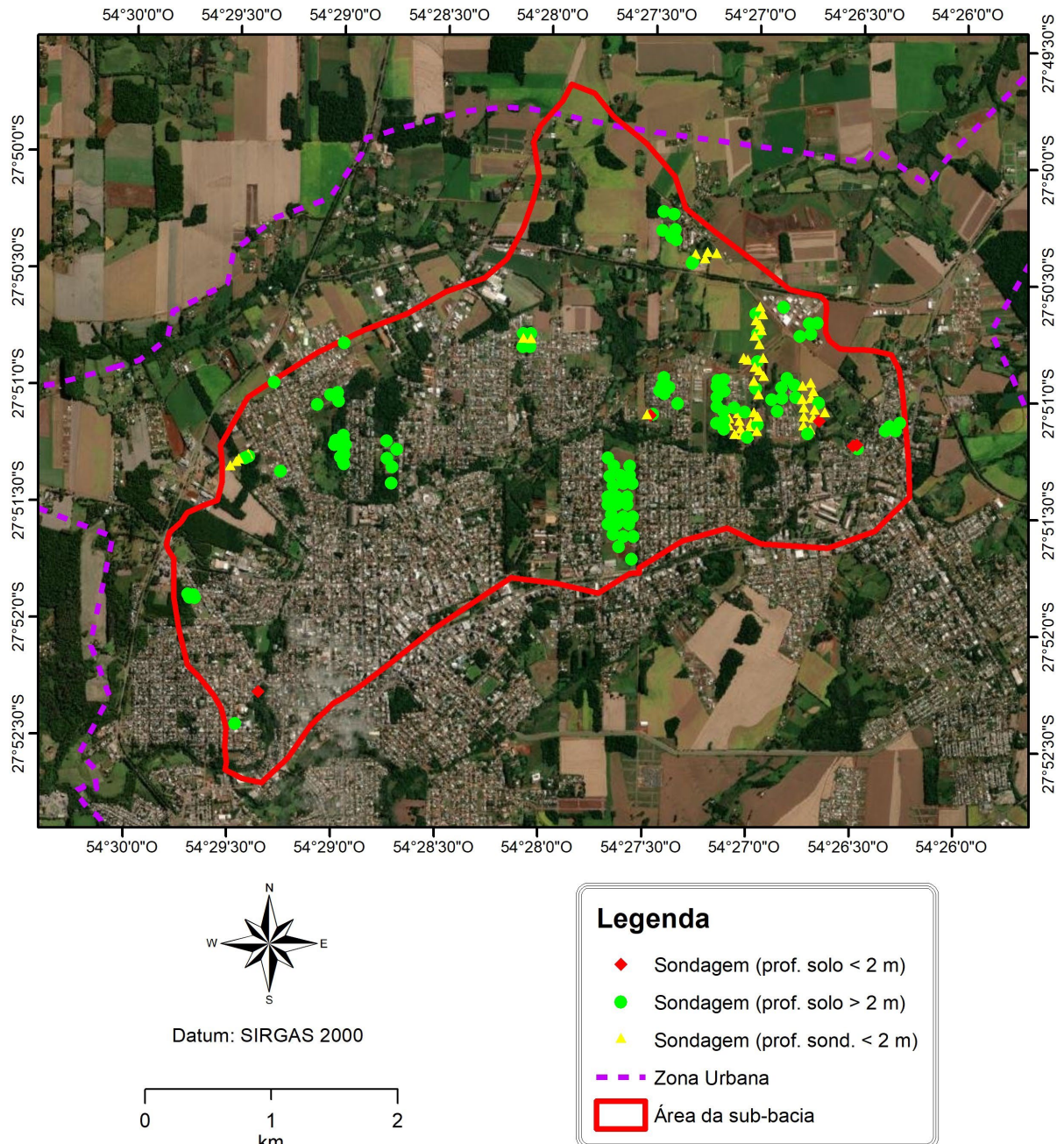
Uma abordagem conservadora seria considerar que 50% desta metragem de vias possui passeios com mais de 3 metros que não constituem acesso de automóveis para garagens ou outro tipo de infraestrutura. Assim haveria 61.120,92 metros lineares disponíveis para instalação de dispositivos de biorretenção e bioinfiltração. Considerando também que a faixa de serviço mínima determinada pelo Plano de Mobilidade (SANTA ROSA, 2010b) é de 0,7 metros e que os passeios de ambos os lados das vias estão aptos à instalação de canteiros de árvores estendidos, haveriam 85.569,29 m² aptos à instalação destes dispositivos. Tal área corresponde à 0,57% da área da sub-bacia do Arroio Pessegueirinho.

Parques e praças poderiam abrigar vários tipos de dispositivos de SBN, especialmente jardins de chuva e canteiros de árvores estendidos. Estas áreas somam 273.481,45 m² na área de estudo, sendo que alguns locais já possuem parques ou praças implementadas e outros não possuem infraestrutura alguma, apenas o lote definido como área verde durante o processo de loteamento. Desta área, 13.640,41 m² estão inseridos em APPs, o que totaliza uma área de 259.841,04 m² não inseridas em APPs. As áreas de parques, praças e áreas verdes são identificadas na figura 18. Destaca-se nesta categoria o Parque Municipal de Exposições Alfredo Leandro Carlson, o qual possui uma área de 193.526,02 m² dentro da área de estudo.

A tabela 3 traz um resumo da quantificação das áreas públicas e protegidas por lei consideradas aptas à implantação de SBN na sub-bacia do Arroio Pessegueirinho. Os espaços públicos mais promissores em termos de áreas são os

cursos d'água e suas APPs e as praças parques e áreas verdes, com 9,16% e 1,74%, respectivamente, da área total da sub-bacia.

Figura 18 – Localização das áreas de parques, praças e áreas verdes.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Somando os 1,17 km² de APPs existentes na sub-bacia (excluídas as APPs que incidiriam em cursos d'água já tubulados) com os 259.841,04 m² das áreas verdes, parques e praças fora de APPs e 111.296,79 m² dos passeios públicos e canteiros centrais de vias, haveriam 1.541.137,83 m² (1,54 km²) passíveis de

implantação de alguma SBN, ou seja, 10,30% da área da sub-bacia. Se as áreas de APPs de cursos d'água tubulados fossem incluídas, após os mesmos passarem por um processo de restauração de rios, haveria 1.741.137,83 m² (1,74 km²), ou seja, 11,64% da área da sub-bacia.

Tabela 3 – Quantificação das áreas consideradas aptas à implantação de SBN e os dispositivos e/ou ações recomendados.

Espaço público	Área apta (m²)	% da sub-bacia	SBN recomendada(s)
Passeios públicos	95.341,59	0,64%	Canteiros de árvores estendidos
Canteiros centrais de vias	13.137,58	0,09%	Biovaletas
Rotatórias e canteiros de trânsito	2.817,62	0,02%	Jardins de chuva
Praças, parques e áreas verdes	259.841,04	1,74%	Biovaletas; Canteiros de árvores estendidos; jardins de chuva
Cursos d'água e suas APPs	1.370.000,00	9,16%	Restauração de rios
Total	1.741.137,83	11,64%	-

Fonte: Elaborada pelo autor.

Como os espaços públicos permeiam todo o tecido urbano da área de estudo e nas cidades em geral, a implementação de SBN daria a possibilidade de a cidade de Santa Rosa conectar as áreas verdes existentes na zona urbana criando um sistema de corredores verdes urbanos. Tal iniciativa já é prevista no Plano Diretor (SANTA ROSA, 2017a), sob o nome de sistema de áreas verdes.

Áreas com um *status* socioeconômico mais baixo provavelmente seriam as mais beneficiadas com tal iniciativa, uma vez que estas áreas tendem a ter uma cobertura vegetal menor, conforme verificado por Kondo *et al.* (2020). Segundo Schell *et al.* (2020), isto poderia ocasionar ganhos de capital para esta população mais pobre, que se traduziria em uma estabilidade ecológica que impacta positivamente a diversidade de espécies nas cidades.

5 CONCLUSÕES

A caracterização ambiental do meio físico demonstrou que a cidade de Santa Rosa está sujeita à ocorrência de alagamentos e inundações que tendem a se agravar no futuro em função das mudanças climáticas. Os aspectos sociais analisados demonstram que pelo menos parte da população pode ser vulnerável a estes eventos. A sub-bacia do Arroio Pessegueirinho possui características ambientais físicas favoráveis para a implantação de SBN que utilizam a infiltração da água no solo como um processo de mitigação dos malefícios provocados pelo escoamento superficial das águas pluviais no ambiente urbano.

A sub-bacia do Arroio Pessegueirinho também tem um potencial considerável para a utilização de jardins de chuva, biovaletas e canteiros de árvores estendidos em áreas públicas e restauração de rios em áreas públicas e protegidas por lei. Pouco mais de 10% da área total da bacia poderia ser transformada em alguma destas SBN. Implantadas desta forma e nestes locais, estas SBN poderiam satisfazer ao disposto no Plano Diretor Municipal (SANTA ROSA, 2017a) referente ao sistema de áreas verdes.

Foram considerados locais adequados para a implantação de jardins de chuva as rotatórias. Já para as biovaletas foram considerados mais adequados os canteiros centrais de vias. Nos passeios públicos, a SBN mais adequada seriam os canteiros de árvores estendidos. Há também uma grande oportunidade de restauração de rios nos cursos d'água da área de estudo.

A análise da legislação e dos planos setoriais existentes demonstrou que há margem legal para implantação de SBN no âmbito municipal, mas que os planos setoriais, especialmente o Plano de Saneamento Básico (SANTA ROSA, 2021c) é vago quanto à estas questões. No entanto, fica claro pelos planos setoriais existentes que o sistema de drenagem municipal baseado no conceito de drenagem convencional e higienista não tem se mostrado eficaz na prevenção à alagamentos e inundações. Uma alternativa para o fomento à implantação seria a elaboração de um Plano Diretor de Drenagem Urbana focado na implementação de SBN como alternativa à drenagem convencional utilizada.

Cabe ressaltar que a integração das SBN com a infraestrutura convencional de drenagem urbana é necessária, assim os benefícios das SBN para a drenagem urbana podem ser potencializados. Vários outros co-benefícios também poderiam

ser obtidos através dos serviços ecossistêmicos providos pelas SBN, dependendo de cada projeto a ser implantado.

A implantação da SBN nas áreas delimitadas tem o potencial de mitigar alagamentos e inundações, melhorar a qualidade de vida da população ao mesmo tempo que impulsiona a economia local e preserva o meio ambiente. No entanto, este estudo pode ser considerado apenas como um diagnóstico inicial. Outros estudos precisam avaliar quais espécies vegetais nativas melhor se adaptam a cada uma das SBN indicadas aqui, bem como questões de engenharia relacionadas à concepção funcional e operacional das soluções.

Ainda, recomenda-se a implantação de um projeto piloto para verificar a funcionalidade, a aceitação da população e, conforme Frantzeskaki (2019) aprender com o processo e os resultados em resposta a um desafio urbano maior. Esta mesma autora cita que as experiências mostram que uma ação visível e tangível que é acessível, convida a discussões e pode alterar o pensamento e as percepções.

A estrutura conceitual proposta por Albert *et al.* (2021) poderia ser utilizada para facilitar o processo de planejamento de SBN. Outros quesitos a serem considerados são os elementos-chave para projetos de SBN proposto por Nesshöver *et al.* (2017), os principais aspectos críticos para acelerar o processo de operacionalizar as SBN em políticas de planejamento urbano descrito por Horn e Xu (2017) e as lições para planejamento de SBN em cidades descritas por Frantzeskaki (2019). A participação das várias partes interessadas, principalmente a população local e a avaliação do funcionamento das soluções implantadas parece ser consenso entre os pesquisadores.

As soluções baseadas na natureza podem nos ajudar a permanecer dentro do espaço operacional seguro para a humanidade, melhorar a sustentabilidade ecológica e social local e garantir a produtividade a longo prazo (MAES; JACOBS, 2017). Portanto, as SBN podem contribuir muito para os desafios urbanos do futuro e conforme mencionado por Girardin *et al.* (2021), se gerenciadas adequadamente, podem beneficiar muitas gerações futuras.

REFERÊNCIAS

- ALBERT, C.; BRILLINGER, M.; GUERRERO, P.; GOTTWALD, S.; HENZE, J.; SCHMIDT, S.; OTT, D.; SCHRÖTER, B. Planning nature-based solutions: principles, steps and insights. **Ambio**, v. 50, p. 1446-1461, 2021.
- ALBERT, C.; SPANGENBERG, J. H.; SCHRÖTER, B. Nature-based solutions: criteria. **Nature**, v. 543, n. 7645, p. 315, 2017.
- APOLLONIO, C.; PETROSELLI, A.; TAURO, F.; CECCONI, M.; BISCARINI, C.; ZAROTTI, C.; GRIMALDI, S. Hillslope Erosion Mitigation: An Experimental Proof of a Nature-Based Solution. **Sustainability**, v. 13, n. 11, p. 1-14, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13969**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO NO BRASIL. **Perfil – Santa Rosa, RS**. AtlasBR, 2022. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/perfil/municipio/431720#sec-politica>. Acesso em: 02 set. 2022.
- BATISTA, B. G.; FUCKS, M. B. Avaliação microbiológica da água do Arroio Pessegueirinho de Santa Rosa, noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Monografias Ambientais**, v. 9, n. 9, p. 2031-2037, 2012.
- BENNET, S. J.; SIMON, A.; CASTRO, J. M.; ATKINSON, J. F.; BRONNER, C. E.; BLERSCH, S. S.; RABIDEAU, A. J. The Evolving Science of Stream Restoration. In: SIMON, A.; BENNET, S. J.; CASTRO, J. M. (eds.). **Stream Restoration in Dynamic Fluvial Systems: Scientific Approaches, Analyses, and Tools**. American Geophysical Union, 2011. p. 1-8.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 2012.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. 1997.
- CAMPOS, R. B. F.; CASTRO, J. M. Áreas verdes: espaços urbanos negligenciados impactando a saúde. **Saúde & Transformação Social**, v. 8, n. 1, p. 106-116, 2017.
- CARVALHO, A. T. F. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão dos recursos hídricos no Brasil. **Caderno Prudentino De Geografia**, v. 1, n. 42, p. 140-161, 2020.

CHRISTOFIDIS, D.; ASSUMPÇÃO, R. S. F. V.; KLIGERMAN, D. C. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. **Saúde Debate**, v. 43, n. especial 3, p. 94-108, 2019.

COREDE FRONTEIRA NOROESTE. **Plano estratégico de desenvolvimento da região fronteira noroeste 2015-2030**. 1. ed. Ijuí: Editora Unijuí, 2017.

CREDIT VALLEY CONSERVATION. **Low impact development stormwater management planning and design guide 1.0**. Toronto: 2010.

CURRAN, W.; HAMILTON, T. Just green enough: contesting environmental gentrification in Greenpoint, Brooklyn. **Local Environment**, v. 17, n. 9, p. 1027-1042, 2012.

DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT (Alemanha). **Região noroeste do Rio Grande do Sul**. Köln: DLR. 2020. 1 imagem de satélite, p&b. Satélite TerraSAR-X. Disponível em: <https://geoservice.dlr.de/web/dataguide/tdm90/>. Acesso em: 06 jul. 2020.

DREY, D. F.; DARONCO, G. C. Análise da área urbana mais afetada por inundações no município de Santa Rosa – RS. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2013, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. ABRH, 2013.

ECOSYSTEM MILLENNIUM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: synthesis**. Washington: Island Press, 2005. 137 p.

EUROPEAN COMMISSION. **Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities**. Luxemburgo: Publications Office of the European Union, 2015. 70 p.

EUROPEAN COMMISSION. **Nature-based solutions**. Bruxelas, 2022. Disponível em: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/environment/nature-based-solutions_en. Acesso em: 05 dez. 2022.

ESRI. **ArcMap**. Versão 10.6.: ESRI, 2018.

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (EUA). **Design guidelines for flood damage reduction**. Washington: FEMA, 1981. 101 p.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A. Relação entre el nino oscilação sul (ENOS), precipitação e rendimento de milho no estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 2, n. 1, p. 39-46, 1996.

FONTES, A. R. M.; BARBASSA, A. P. Diagnóstico e prognóstico da ocupação e da impermeabilização urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 137-147, 2003.

FOSTER, J.; LOWE, A.; WINKELMAN, S. **The Value of Green Infrastructure for Urban Climate Adaptation**. Washington: The Center for Clean Air Policy, 2011.

FRANK, H. T.; GOMES, M. E. B.; FORMOSO, M. L. L. Review of the areal extent and the volume of the Serra Geral Formation, Paraná Basin, South America. **Pesquisas em Geociências**, v. 36, n. 1, p. 49-57, 2009.

FRANTZESKAKI, N. Seven lessons for planning nature-based solutions in cities. **Environmental Science & Policy**, v. 93, p. 101-111, 2019.

GEOSYNTEC CONSULTANTS; LARRY WALKER ASSOCIATES. **Ventura County technical guidance manual for stormwater quality control measures – manual update**. 2011.

GIRARDIN, C. A. J.; JENKINS, S.; SEDDON, N.; ALLEN, M.; LEWIS, S. L.; WHEELER, C. E.; GRISCOM, B. W.; MALHI, Y. Nature-based solutions can help cool the planet – if we act now. **Nature**, v. 593, n. 7858, p. 191-194, 2021.

GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M. Considerações sobre as inundações no Brasil. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005, João Pessoa, **Anais...** 2005.

GOOGLE. **Google Earth Pro**. Versão 7.3.4.8642.: Google, 2022.

GRIFFITHS, J.; CHAN, F. K. S.; SHAO, M.; ZHU, F.; HIGGITT, D. L. Interpretation and application of Sponge City guidelines in China. **Philosophical Transactions of The Royal Society A**, v. 378, p. 1-20, 2020.

HASENACK, H.; WEBER, E. (org.). **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul – escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS, Centro de Ecologia, 2010. 1 DVD-ROM.

HOLMES, D. **Te Auaunga stream restoration project daylight seven piped tributaries**. WLA, 2020. Disponível em: <https://worldlandscapearchitect.com/te-auaunga-daylights-seven-piped-tributaries/#.Y55cv3bMJD9>. Acesso em 17 dez. 2022.

HORN, O; XU, H. **Nature-based solutions for sustainable urban development**. Bonn: ICLEI Briefing Sheet, 2017. 6 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **IBGE Cidades**. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/santa-rosa/panorama>. Acesso em: 02 set. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Mapa exploratório de solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. Escala 1:1.000.000.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). **Normais Climatológicas do Brasil**. Brasília, DF: INMET, 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 01 dez. 2022.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE. **Resolução WCC2016-Res-069-EM**. Hawai'i: World Conservation Congress, 2016. 2p.

KÄMPF, N.; GIASSON, E.; INDA JÚNIOR, A. V.; DO NASCIMENTO, P. C.; RODRIGUES, A. L. M.; ANGHINONI, M. C. M.; FERRARO, L. W.; BINOTTO, R. B.; SANBERG, J. R. D. Metodologia para classificação de solos quanto à resistência a impactos ambientais decorrentes da disposição final de resíduos. **Fepam em Revista**, v.2, n. 1, p. 11-17, 2008.

KONDO, M. C.; MUELLER, N.; LOCKE, D. H.; ROMAN, L. A.; ROJAS-RUEDA, D.; SCHINASI, L. H.; GASCON, M.; NIEUWENHUIJSEN, M. J. Health impact assessment of Philadelphia's 2025 tree canopy cover goals. **The Lancet Planetary Health**, v. 4, p. e149-e157, 2020.

MAES, J.; JACOBS, S. Nature-Based Solutions for Europe's Sustainable Development. **Conservation Letters**, v. 10, n. 1, p. 121-124, 2017.

MATZENBAUER, R.; RADIN, B.; MALUF, J. R. T. O fenômeno ENOS e o regime de chuvas no Rio Grande do Sul. **Agrometeoros**, v. 25, n. 2, p. 323-331, 2017.

MAZURANA, J.; CASSOL, E. A.; SANTOS, L. C.; ELTZ, F. L. F.; BUENO, A. C. Erosividade, padrões hidrológicos e período de retorno das chuvas erosivas de Santa Rosa (RS). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 975-983, 2009.

MELLO, K.; TANIWAKI, R. H.; PAULA, F. R.; VALENTE, R. A.; RANDHIR, T. O.; MACEDO, D. R.; LEAL, C. G.; RODRIGUES, C. B.; HUGHES, R. M. Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 270, p. 1-16, 2020.

MICKOVSKI, S. B. Re-Thinking Soil Bioengineering to Address Climate Change Challenges. **Sustainability**, v. 13, n. 6, p. 1-14, 2021.

MORENO, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, n. 11, p. 49-82, 1961.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivos do desenvolvimento sustentável**. Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 04 set. 2022.

NATURE. Natural language. **Nature**, v. 541, n. 7636, p. 133-134, 2017.

NESSHÖVER, C.; ASSMUTH, T.; IRVINE, K. N.; RUSCH, G. M.; WAYLEN, K. A.; DELBAERE, B.; HAASE, D.; JONES-WALTERS, L.; KEUNE, H.; KOVACS, E.; KRAUZE, K.; KÜLVIK, M.; REY, F.; VAN DIJK, J.; VISTAD, O. I.; WILKINSON, M. E.; WITTMER, H. The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective. **Science of the Total Environment**, v. 579, p. 1215-1227, 2017.

OTTER, J. **Te Auaunga Awa (Oakley Creek) park and stream restoration project: an impact evaluation**. Auckland: Auckland Council Technical Report, 2020. 40 p.

PENG, Y.; REILY, K. **Using Nature to Reshape Cities and Live with Water: An Overview of the Chinese Sponge City Programme and Its Implementation in Wuhan**. Grow Green, 2021.

PHILADELPHIA WATER DEPARTMENT. **Green City Clean Waters**. Philadelphia, EUA, 2022. Disponível em: <https://water.phila.gov/green-city/>. Acesso em: 15 dez. 2022.

PINTO, V. M.; HARTMANN, L. A.; SANTOS, J. O. S.; MCNAUGHTON, N. J.; WILDNER, W. Zircon U-Pb geochronology from the Paraná bimodal volcanic province support a brief eruptive cycle at ~ 135 Ma. **Chemical Geology**, v. 281, n. 1-2, p. 93-102, 2011.

PÖRTNER, H. O.; ROBERTS, D. C.; TIGNOR, M.; POLOCZANSKA, E. S.; MINTENBECK, K.; ALEGRÍA, A.; CRAIG, M.; LANGSDORF, S.; LÖSCHKE, S.; MÖLLER, V.; OKEM, A.; RAMA, B. (eds.). **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability – Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge e Nova Iorque: Cambridge University Press. 2022. 3056 p.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS**. Versão 3.22.9.: QGIS Development Team, 2022.

ROISENBERG, A; VIERO, A. P. O vulcanismo mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. *In*: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. (eds.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. p. 355-374.

SANTA ROSA. **Economia**. Santa Rosa, RS, 2022. Disponível em: https://prefeitura.santarosa.rs.gov.br/?page_id=72. Acesso em: 03 set. 2022.

SANTA ROSA. Secretaria de Desenvolvimento Sustentável. **Plano municipal de saneamento básico participativo – diagnóstico**. Santa Rosa: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, 2021a. 211 p.

SANTA ROSA. Secretaria de Desenvolvimento Sustentável. **Plano municipal de saneamento básico participativo – ações para emergências e contingências**. Santa Rosa: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, 2021b. 80 p.

SANTA ROSA. Secretaria de Desenvolvimento Sustentável. **Plano municipal de saneamento básico participativo – prognóstico, ações e metas para os serviços de saneamento**. Santa Rosa: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, 2021c. 216 p.

SANTA ROSA. **Georreferenciamento**. Santa Rosa, RS, 2021d. Disponível em: <https://geo.santarosa.rs.gov.br/>. Acesso em: 01 dez. 2022.

SANTA ROSA. Lei Complementar n° 118, de 28 de agosto de 2017. Plano Diretor Participativo de Desenvolvimento Sustentável do Município de Santa Rosa. 2017a.

SANTA ROSA. Secretaria de Desenvolvimento Sustentável. **Elaboração de estudo de concepção de manejo de águas pluviais e drenagem urbana no município de Santa Rosa – RS - relatório final e estudo de concepção consolidado**. Santa Rosa: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, 2017b. 273 p.

SANTA ROSA. Lei Complementar n° 58, de 12 de abril de 2010. Institui o Código de Obras do município de Santa Rosa. 2010a.

SANTA ROSA. **Plano de Mobilidade Urbana de Santa Rosa/RS**. Santa Rosa, 2010b.

SANTA ROSA. Lei Complementar nº 33, de 11 de outubro de 2006. Institui o Plano Diretor Participativo de Desenvolvimento Municipal Sustentável de Santa Rosa e dá outras providências. 2006.

SCHAUBROECK, T. Nature-based solutions: sustainable?. **Nature**, v. 543, n. 7645, p. 315, 2017.

SCHELL, C. J.; DYSON, K.; FUENTES, T. L.; DES ROCHES, S.; HARRIS, N. C.; MILLER, D. S.; WOELFLE-ERSKINE, C. A.; LAMBERT, M. R. The ecological and evolutionary consequences of systemic racism in urban environments. **Science**, v. 369, n. 6510, p. 1-18, 2020.

SCHUSTER, R.; SCOTTÁ, F.; PARANHOS, R. **Nota Técnica nº 002/2020/DIPLA/DRHS**. Porto Alegre: Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento, 2020.

SCHWARZ, K.; FRAGKIAS, M.; BOONE, C. G.; ZHOU, W.; McHALE, M.; GROVE, J. M.; O'NEIL-DUNNE, J.; McFADDEN, J. P.; BUCKLEY, G. L.; CHILDERS, D.; OGDEN, L.; PINCETL, S.; PATAKI, D.; WHITMER, A.; CADENASSO, M. L. Trees grow on money: urban tree canopy cover and environmental justice. **PLoS ONE**, v. 10, n. 4, p. 1-17, 2015.

SOUZA, C. C.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento urbano de baixo impacto: planejamento e tecnologias verdes para a sustentabilidade das águas urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 2, p. 9-18, 2012.

TERZAGHI, K.; PECK, R. B.; MESRI, G. **Soils mechanic in engineering practice**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons. 1996.

THOMSEN, A. T. H.; NIELSEN, J. E.; RIIS, T.; RASMUSSEN, M. R. Hydraulic effects of stormwater discharge into a small stream. **Journal of Environmental Management**, v. 270, p. 1-11, 2020.

TRAININI, D. R.; MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. **Mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 2005. Escala 1:750.000.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**. Brasília: CEPAL/IPEA, 2012. 50 p.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades/Global Water Partnership/Wolrd Bank/Unesco, 2005. 270 p.

UACDC. **Low Impact Development**: a design manual for urban areas. Fayetteville: University of Arkansas Press, 2010.

UNEP-DHI; IUCN; TNC; WRI; Green Community Ventures; U.S. Army Corps of Engineers. **Green Infrastructure Guide for Water Management**: Ecosystem-based management approaches for water-related infrastructure projects. 2014.

UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. **The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water**. Paris: UNESCO, 2018. 139 p.

WILDNER, W. Estratigrafia do magmatismo Serra Geral na Bacia do Paraná – conceitos básicos e divisão faciológica. In: REUNIÃO ABERTA DA COMISSÃO BRASILEIRA DE ESTRATIGRAFIA, 2004, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 2004. p. 62-75.

WILDNER, W.; RAMGRAB, G. E.; LOPES, R. C.; IGLESIAS, C. M. F. **Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 2008. Escala 1:750.000.

WOHL, E.; LANE, S. N.; WILCOX, A. The Science and practice of river restoration. **Water Resources Reserarch**, v. 51, n. 8, p. 5974-5997, 2015.

WOHL, E.; ANGERMEIER, P. L.; BLEDSOE, B.; KONDOLF, G. M.; MACDONNEL, L.; MERRITT, D. M.; PALMER, M. A.; POFF, N. L.; TARBOTON, D. River restoration. **Water Resources Reserarch**, v. 41, n. 10, p. 5974-5997, 2005.

WOLCH, J. R.; BYRNE, J.; NEWELL, J. P. Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'. **Landscape and Urban Planning**, v. 125, p. 134-144, 2014.

XING, Y.; JONES, P.; DONNISON, I. Characterisation of Nature-based solutions for the built environment. **Sustainability**, v. 9, n. 1, p. 1-20, 2017.

XU, H.; HORN, O. **China's Sponge City concept: Restoring the Urban Water Cycle through Nature-Based Solutions**. Bonn: ICLEI Briefing Sheet, 2017. 2 p.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. 290 p.