

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GUSTAVO MARCENO DE OLIVEIRA

ÁREAS VULNERÁVEIS E ESTRUTURA VERDE EM CURITIBA: UMA DISCUSSÃO
DAS SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA DA BACIA DO RIO BELÉM

CURITIBA

2025

GUSTAVO MARCENO DE OLIVEIRA

ÁREAS VULNERÁVEIS E ESTRUTURA VERDE EM CURITIBA: UMA DISCUSSÃO
DAS SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA DA BACIA DO RIO BELÉM

Artigo apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Especialista, Curso de MBA
em Gestão Ambiental, Setor de Ciências Agrárias,
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Alan Ripoll Alves

CURITIBA

2025

RESUMO

Este trabalho analisa a eficácia das Soluções baseadas na Natureza (SbN), na mitigação de inundações urbanas na bacia hidrográfica do rio Belém, em Curitiba. Com abordagem qualitativa e apoio documental e bibliográfico, a pesquisa identifica as áreas mais vulneráveis da bacia, avalia a estrutura verde existente e discute os limites e potencialidades das SbN no contexto urbano consolidado. A bacia do rio Belém apresenta elevada impermeabilização, infraestrutura de drenagem deficiente e ocupações irregulares, fatores que contribuem para a recorrência de alagamentos, especialmente nos trechos centrais e à jusante da bacia. O parque alagável, como o São Lourenço e o Passeio Público, como zona de amortecimento, ainda cumprem parcialmente sua função de contenção e infiltração, mas estão sobrecarregados frente à expansão urbana e às mudanças climáticas. A análise territorial permitiu a classificação da bacia em quatro trechos com diferentes níveis de vulnerabilidade e viabilidade para implementação de medidas de baixo impacto. As recomendações incluem a recuperação de áreas de preservação permanente, uso de tecnologias sustentáveis de infiltração urbana, articulação institucional e incentivo à participação comunitária. Conclui-se que, embora as SbN não resolvam isoladamente os problemas da drenagem urbana, elas representam uma estratégia essencial para a construção de cidades mais resilientes, integrando planejamento urbano, justiça ambiental e adaptação climática.

Palavras-chave: Gestão de recursos hídricos; Impermeabilização do solo; Inundações urbanas; Macrodrenagem urbana; Planejamento territorial.

ABSTRACT

This study analyzes the effectiveness of Nature-Based Solutions (NbS) in mitigating urban flooding in the Belém River watershed, in Curitiba. Using a qualitative approach supported by bibliographic and documentary research, the study identifies the most vulnerable areas of the watershed, evaluates the existing green infrastructure, and discusses the limitations and potential of NbS within a consolidated urban context. The Belém River watershed presents high levels of impermeabilization, deficient drainage infrastructure, and irregular settlements—factors that contribute to the recurrence of flooding, especially in the central and downstream sections of the basin. Floodable parks, such as São Lourenço and Passeio Público (as buffer zones), still partially fulfill their role in water retention and infiltration but are currently overwhelmed by urban expansion and climate change. Territorial analysis allowed the watershed to be divided into four segments with different levels of vulnerability and feasibility for implementing low-impact development strategies. Recommendations include the restoration of permanent preservation areas, adoption of sustainable urban infiltration technologies, institutional coordination, and encouragement of community participation. The study concludes that although NbS alone cannot solve urban drainage problems, they represent an essential strategy for building more resilient cities by integrating urban planning, environmental justice, and climate adaptation.

Keywords: Soil Impermeabilization; Territorial planning; Urban Flooding; Urban Macrodrainage; Water resources management.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 MANANCIAIS DE CURITIBA: PANORAMA.....	7
3 INUNDAÇÕES E GESTÃO PÚBLICA	8
4 METODOLOGIA.....	12
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
5.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BELÉM....	13
5.2 IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS VULNERÁVEIS	14
5.3 AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA VERDE	17
5.4 APLICAÇÃO DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA (SBN)	18
5.5 RECOMENDAÇÕES E PERSPECTIVAS.....	20
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
REFERÊNCIAS	24
ANEXO A	28
ANEXO B	29
ANEXO C	30
ANEXO D	31
ANEXO E.....	32

1 INTRODUÇÃO

É comum que o crescimento urbano, embora possa promover o desenvolvimento, também traga consigo problemas em decorrência de falta de planejamento. A urbanização intensa e impermeabilização do solo exigem infraestruturas cada vez melhores e são um dos problemas advindos desse crescimento inadequado.

O Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (AR6/IPCC) fornece dados sobre as mudanças nos padrões de precipitação em diversas regiões, incluindo o Brasil, onde a projeção é de um aumento na frequência de eventos de chuvas extremas, mesmo em áreas onde há tendência de redução no total anual de precipitações (IPCC *et al.*, 2021)

Cortez (2022) e Medeiros (2022) mostram através de modelagem e análises estatísticas o aumento de chuvas intensas em todo o território nacional. Isso implica uma maior probabilidade de enchentes e alagamentos em regiões de maior susceptibilidade. No Brasil, os eventos de chuvas intensas têm se tornado mais frequentes (GOUDARD; MENDONÇA, 2017; LAZZARI *et al.*, 2024).

A cidade de Curitiba, considerada uma referência em planejamento urbano sustentável, também enfrenta desafios relacionados aos efeitos das mudanças climáticas. É notório como alagamentos ocorrem anualmente, mesmo sendo uma cidade que dispõe de considerável área verde. Isto mostra que, apesar da construção de parques e canalizações, diversas áreas da cidade continuam vulneráveis a alagamentos, reforçando que a infraestrutura verde não está sendo completamente eficaz sem intervenções complementares.

Diante disso e das mudanças climáticas e do aumento da frequência de chuvas intensas, este trabalho propõe-se a realizar um levantamento teórico sobre as áreas vulneráveis da região central de Curitiba e áreas de parques alagáveis situados na bacia hidrográfica do rio Belém.

Questiona-se: as Soluções baseadas na Natureza (SbN) da bacia do rio Belém ainda cumprem sua função eficazmente? Busca-se discutir, com base em estudos anteriores, a eficácia desses sistemas enquanto estratégias de contenção de inundações urbanas. Especificamente, busca-se relacionar as áreas mais vulneráveis e infraestrutura verde e as limitações dessas infraestruturas.

2 MANANCIAIS DE CURITIBA: PANORAMA

A cidade de Curitiba, localizada no sul do país, é a oitava maior cidade do Brasil (IBGE, 2024). Reconhecida como modelo de planejamento urbano sustentável (MACEDO, 2013; LARBI; KELLETT; PALAZZO, 2022), a cidade enfrenta desafios crescentes relacionados a eventos extremos de chuva e alagamentos (MOURA; FRENZEL, 2019; BARBOSA *et al.*, 2025). Um levantamento entre 1976-2018 revelou que eventos extremos ocorreram em todos os meses do ano, especialmente no verão, causando 48 decretos de emergência e afetando cerca de 397.516 pessoas na capital e região metropolitana (CALDANA *et al.*, 2021).

Castro *et al.* (2017) destacam a alta taxa de urbanização da cidade de Curitiba (~93%) e os impactos negativos no ciclo hidrológico local, colocando em evidência os episódios extremos de chuva e eventos críticos de inundação. A impermeabilização do solo, decorrente da urbanização acelerada, reduz a capacidade natural de infiltração da água, exigindo soluções inovadoras para a gestão de águas pluviais (REN *et al.*, 2020; LARBI; KELLETT; PALAZZO, 2022).

A cidade de Curitiba tem o seu sistema hídrico composto por seis bacias hidrográficas (ANEXO A), as quais são: bacia hidrográfica do rio Atuba-Bacacheri, rio Barigui, rio Belém, rio Iguaçu, rio Passaúna e rio Ribeirão dos Padilhas (CUNICO, 2017). É comum em todas as bacias mencionadas a ocorrência de ocupações irregulares, principalmente nas margens dos rios com alta vulnerabilidade ambiental (LOHMANN, 2011; CUNICO, 2017).

As bacias hidrográficas mais afetadas por alagamentos são as bacias do rio Belém, Atuba e Barigui devido à densidade populacional, densidade de ocupação e impermeabilização do solo. Salienta-se que o tempo de resposta de cada área varia de acordo com suas características, como as áreas impermeabilizadas e obras de mitigação e adaptação à alagamentos. Portanto, a mesma intensidade de chuva não necessariamente impactará da mesma forma para cada região (LOHMANN, 2011).

Curitiba é uma das cidades mais arborizadas do Brasil, porém, há regiões que a cobertura vegetal quase desaparece devido a ocupações irregulares e desordenadas ao longo dos rios (MISAEL, 2018).

Dentro do perímetro da bacia do Rio Belém, parques criados às margens de rios como nascentes do Rio Belém, São Lourenço, Parque Iguaçu, Passeio Público e bosque do Papa são importantes à drenagem e fundamentais para a macrodrenagem na região. O Passeio Público de Curitiba é o único parque na região central da cidade, uma das áreas mais vulneráveis a enchentes, a qual tem se tornado cada vez mais frequente na bacia deste rio (CURITIBA, 2012). A bacia do Rio Belém comporta ainda outros corpos d'água que deságuam em seu leito, como o Rio Pilarzinho, o Rio Ivo, o Rio Juvevê, o Rio Água Verde e o Rio da Vila Guaira, além de pequenos córregos (DE LUCCA, 2013; SIQUEIRA, 2022).

A compreensão do comportamento das bacias urbanas e a relação entre urbanização e capacidade de drenagem é essencial para avaliar a eficiência das soluções baseadas na natureza. Por isso, estudos específicos da bacia do rio Belém são centrais neste levantamento.

3 INUNDAÇÕES E GESTÃO PÚBLICA

Dentre os problemas hidroclimatológicos, os casos de inundações são os mais comuns, representando 59% dos casos decorrentes de eventos climáticos extremos e ocorrem em mais de 80% das cidades brasileiras (CALDANA *et al.*, 2021).

É comum que cidades ao redor do mundo, sejam elas grandes metrópoles ou pequenas cidades do interior, sofram com alagamentos e enchentes (REN *et al.*, 2020). A rápida urbanização aumenta drasticamente o volume e o pico de vazão dos escoamentos pluviais, expondo a população ao redor a maiores riscos de inundações (LIU; CHEN; PENG, 2014; WANG; WAH YU; CAO, 2022).

O processo de desenvolvimento urbano de Curitiba se expandiu nos vales e confluências de rios, canalizando-os e fazendo parques com o intuito de conter as cheias (GEISSLER; LOCH, 2004; PEREZ-LANCELOTTI; ZIEDE, 2020). A legislação municipal, especialmente a Lei nº 10.785/2003 Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações – PURAE, bem como o Decreto nº 176/2007, estabelecem normas para a retenção de águas pluviais e para a preservação das áreas verdes, formalizando a função dessas estruturas dentro do sistema urbano (SAAVEDRA, 2017). Entretanto, mesmo com investimentos em infraestrutura verde, como obras estruturais e áreas permeáveis, as inundações persistem. Vale ressaltar que a vulnerabilidade de áreas ribeirinhas depende do grau de ocupação da várzea ocupada e áreas urbanas dependem do grau de impermeabilização da bacia e da canalização de drenagem da rede (SIQUEIRA *et al.*, 2022).

Um estudo que utilizou modelagem hidrológica e hidráulica em regiões periféricas de Curitiba, como o Distrito Audi-União (CRUZ *et al.*, 2023), demonstrou que, mesmo com obras estruturais - barragens, canais e reservatórios - as inundações continuam recorrentes, ainda que com parques e corredores verdes em uso. As simulações de cenários indicam que intervenções pontuais isoladas não são suficientes para conter eventos de retorno elevado (> 10 anos), apontando para a necessidade de abordagens combinadas entre medidas estruturais e não estruturais (HUANG *et al.*, 2020; CRUZ *et al.*, 2023).

A aplicação de medidas estruturais para mitigação de alagamentos urbanos é amplamente observada em grandes cidades ao redor do mundo (HARMANCIOĞLU; GÜL, 2010; ABDEL-FATTAH *et al.*, 2021), onde medidas não estruturais por si só não são capazes de mitigar os riscos de fluxo, uma vez que as áreas urbanas se expandiram para as planícies de inundação ribeirinhas (CRUZ *et al.*, 2023).

Nesse contexto, as SbN surgem como uma estratégia de infraestrutura verde, dentre eles, parques e zonas de amortecimento projetadas para funcionar como bacias de retenção temporária, mitigando enchentes e aumentando a resiliência urbana (LI; GUO, 2024; MARTÍN MUÑOZ *et al.*, 2024).

As SbN são estratégias que se inspiram ou utilizam processos naturais para enfrentar desafios sociais, ambientais e econômicos, como as mudanças climáticas, a escassez de água, a poluição, a perda de biodiversidade e até os problemas urbanos, como enchentes (SILVEIRA, 2025).

Projetados para serem inundados durante períodos de chuvas intensas, a principal função dos parques alagáveis está em atuar como reservatórios temporários para armazenar a água da chuva, evitando com que ela se acumule nas ruas e cause alagamentos. Ao invés de ser simplesmente direcionada para os sistemas de drenagem urbanos, que muitas vezes não dão conta do volume de água, essa água é encaminhada para o parque, onde pode ser absorvida pelo solo ou drenada de volta para corpos d'água, como rios e lagos (HUANG *et al.*, 2020).

Além da função estética, social e de lazer, as versões alagáveis dos parques funcionam como um complemento dos sistemas de drenagem saturados pela infraestrutura urbana predominantemente de concreto e asfalto e o alto volume de chuvas (MARTÍN MUÑOZ *et al.*, 2024).

O conceito de parque alagável está em linha com a ideia de infraestrutura verde, que busca integrar soluções naturais ao planejamento urbano, assim como também faz parte do conceito de cidade-esponja. Em vez de depender exclusivamente de sistemas de drenagem tradicionais, que muitas vezes são insuficientes, essas áreas aproveitam os recursos naturais para melhorar a resiliência das cidades às mudanças climáticas, ao mesmo tempo em que criam espaços públicos agradáveis e sustentáveis (JI; RAO, 2023).

Exemplos de parques com intuito de conter alagamentos podem ser encontrados tanto no Brasil quanto em diversos países ao redor do mundo. Países como China, Estados Unidos, Dinamarca e várias cidades europeias adotaram o conceito de parques alagáveis como parte de suas estratégias de gestão das águas pluviais e como forma de mitigar os efeitos das mudanças climáticas (JI; RAO, 2023; LI; GUO, 2024).

Em 2011, a cidade de Copenhague, na Dinamarca, sofreu uma tempestade intensa, a qual foi chamada de “Chuva do Milênio”. Nos anos seguintes, tempestades semelhantes foram cada vez mais frequentes. Estes

eventos foram um marco no país que o levou a um planejamento urbano voltado a gestão de águas e, a Dinamarca decidiu adotar uma abordagem mais integrada e sustentável. Os espaços públicos tornaram-se mais resilientes às mudanças climáticas, até então centrado em sistemas de drenagem convencionais (ZIERSEN; CLAUSON-KAAS; RASMUSSEN, 2017).

Diante de eventos extremos e consequentes inundações, Copenhague planeja sua infraestrutura urbana com soluções inspiradas no conceito de cidades-esponja (DE-SOUZA *et al.*, 2025). Curitiba também é apontada como um exemplo de "cidade-esponja" devido às suas práticas de gestão de águas pluviais e planejamento urbano que visam mitigar enchentes e alagamentos. A capital investe em parques e áreas verdes que funcionam como reservatórios naturais, absorvendo o excesso de água da chuva e reduzindo o impacto em áreas urbanas.

No contexto curitibano, a experiência com implantação de obras de contenção e áreas alagáveis representa uma importante trajetória de gestão urbana que permite avaliar os elementos que influenciam sua eficácia. Entre esses fatores, destacam-se aspectos como a localização dos parques em relação às áreas de risco, a integração com sistemas de drenagem tradicionais, a manutenção contínua das estruturas e a adaptação frente às mudanças nos regimes de precipitação.

4 METODOLOGIA

O presente estudo consiste em uma abordagem qualitativa com apoio quantitativo secundário, baseada em levantamento bibliográfico e análise documental. Não foram realizadas análises de campo ou levantamentos primários. O foco está na discussão de pesquisas acadêmicas e documentos de contenção institucionais relacionados à eficácia das infraestruturas de micro e macrodrenagem como estratégia de inundações urbanas na bacia hidrográfica do rio Belém, na cidade de Curitiba.

A metodologia adotada compreende as seguintes etapas:

- (1) Revisão bibliográfica e documental: Realizou-se um levantamento da literatura por meio de bases científicas como Scielo, Google Scholar, CAPES Periódicos e repositórios institucionais de universidades brasileiras. Foram selecionados artigos científicos, teses, planos diretores, relatórios técnicos e, publicações de órgãos públicos relacionados às seguintes palavras-chave: gestão de águas pluviais, infraestrutura verde e SbN, com foco especial em Curitiba.
- (2) Análise de casos e evidências teóricas: Buscou-se discutir, por meio de estudos já publicados, sobre áreas vulneráveis e relação com áreas verdes e, as principais contribuições e fragilidades das estratégias adotadas em Curitiba no contexto da bacia hidrográfica do Rio Belém.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os principais resultados da pesquisa sobre a bacia hidrográfica do rio Belém, em Curitiba, relacionando áreas vulneráveis e a estrutura verde urbana. Partindo do objetivo central de discutir a eficácia das SbN para contenção de inundações, buscou-se responder à seguinte pergunta de pesquisa: As SbN da bacia do rio Belém ainda cumprem sua função eficazmente? Para tanto, adotou-se uma metodologia baseada em revisão bibliográfica, documental, analisando publicações sobre drenagem urbana, áreas vulneráveis e infraestrutura verde.

Com base nessa abordagem, o capítulo estrutura-se em cinco subitens. Primeiramente, apresenta-se a contextualização da bacia hidrográfica do rio Belém, caracterizando aspectos físicos, geológicos e urbanos que influenciam diretamente a dinâmica das inundações e vulnerabilidade. Em seguida, é feita a identificação das áreas mais vulneráveis da bacia, considerando os diferentes trechos e estruturas de drenagem. Posteriormente, analisa-se a estrutura verde existente, SbN e outras estruturas que atuam como elementos de retenção e infiltração. Por fim, discute-se a aplicação das SbN e as recomendações para a mitigação e adaptação aos eventos de inundação, considerando os desafios estruturais, legais e institucionais.

5.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BELÉM

A bacia hidrográfica do rio Belém, localizada em Curitiba (ANEXO A), possui uma extensão de aproximadamente 88 km², configurando-se como a área mais densamente urbanizada da cidade (CURITIBA, 2012). Sua caracterização física e geológica é essencial para compreender os fatores que contribuem para a alta vulnerabilidade a inundações e para subsidiar a análise da eficácia das áreas verdes e SbN.

Considerando que cerca de 87% da bacia encontra-se impermeabilizada, isto representa um elevado índice de superfícies pavimentadas e edificadas que impedem a infiltração natural da água da chuva no solo (SIQUEIRA *et al.*, 2022).

Com relação à formação geológica (ANEXO B), a bacia do rio Belém é composta das unidades geológicas denominada Complexo Atuba (Gnaiss Magmatítico) na porção norte da bacia e, Formação Guabirotuba e sedimentos recentes na porção sul (CURITIBA, 2025). A porção norte apresenta alto e médio grau de permeabilidade e, a porção sul apresenta baixo e médio grau de permeabilidade (ANEXO C). Sendo essas últimas, as regiões mais afetadas por alagamentos, dado seu menor potencial de infiltração (SIQUEIRA *et al.*, 2022).

Essa alta impermeabilização resulta em um volume significativo de escoamento superficial, a qual chega diretamente aos corpos d'água, e sobrecarrega o sistema de drenagem urbana. A infraestrutura de drenagem da bacia é, em diversos pontos, antiga e subdimensionada e apresenta sinais de desgaste, uma situação agravada pela rápida expansão urbana e pela ocupação irregular (BERTOLINO, 2016).

Na região central, as áreas com maiores alagamentos correspondem com os trechos de rios canalizados, indicando a obsolescência da estrutura de drenagem (ANEXO D). Locais como a Rua Canal Belém destacam-se negativamente devido à presença de ocupações em Áreas de Preservação Permanente (APPs), o que reduz ainda mais a capacidade de escoamento e intensifica os riscos de inundações.

Além disso, a ocupação irregular e desordenada, especialmente nas regiões mais críticas da bacia, tem contribuído para a degradação ambiental, com o acúmulo de resíduos e o lançamento inadequado de esgoto nas águas fluviais (SIQUEIRA *et al.*, 2022). Essas práticas comprometem a qualidade da água e a sustentabilidade do sistema hídrico urbano, exacerbando os impactos sociais e ambientais decorrentes das enchentes (MISAEL, 2018)

A combinação desses fatores evidencia a vulnerabilidade da bacia do rio Belém, reforçando a necessidade de estratégias e soluções baseadas na natureza para mitigar e adaptar frente a ocupação e a modernização da infraestrutura de drenagem. Dessa forma, é possível avançar na mitigação dos efeitos das enchentes urbanas e promover a resiliência da cidade diante das mudanças climáticas e do crescimento populacional. Esta contextualização é

fundamental para sustentar a análise sobre a distribuição das áreas vulneráveis, a presença da estrutura verde e a eficácia das Sbn implementadas.

5.2 IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS VULNERÁVEIS

Com base nos dados levantados por meio da metodologia adotada, foi possível identificar a distribuição espacial das áreas mais vulneráveis à inundação na bacia do rio Belém. A análise territorial da bacia do rio Belém evidencia uma distribuição heterogênea das áreas vulneráveis, diretamente associadas à densidade de ocupação, ao desrespeito à legislação ambiental e à insuficiência da infraestrutura urbana, conforme divisão por trechos do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Curitiba (CURITIBA, 2012)

No trecho 1, das nascentes até o Parque São Lourenço, área com menor densidade urbana, mais áreas verdes livres, elevada superfície, maior permeabilidade e com poucos focos de inundação (CURITIBA, 2012; BERTOLINO, 2016). Neste trecho observa-se manchas de enchentes seguindo o rio Belém desde a Nascente até chegar no Parque São Lourenço (ANEXO D). A partir deste ponto (trecho 2), as manchas diminuem consideravelmente até o momento em que a canalização do rio inicia seu canal fechado.

No trecho 2, entre o Parque São Lourenço e a Rodoferroviária, observa-se uma ocupação urbana intensa, marcada pela presença significativa de esgoto lançado diretamente nos corpos hídricos, comprometendo a qualidade da água e sistemas de drenagem. Nesta faixa encontra-se a área mais vulnerável da bacia. O acúmulo de resíduos e o descontrole do manejo de águas pluviais aumentam a vulnerabilidade às enchentes

O método clássico das estruturas de controle de enchentes aplicado pelas cidades consistia em transferir o fluxo de montante para jusante, sobrecarregando e degradando condutos e canais (DE LUCCA, 2013). Na região central de Curitiba, os alagamentos são intensificados pela ineficiência dos sistemas convencionais de drenagem, agravados pela canalização dos rios. As áreas mais vulneráveis a inundações coincidem, em grande parte, com os trechos de rios que foram canalizados (BERTOLINO, 2016).

No trecho 3, da Rodoferroviária até a Linha Verde, a situação se agrava com a alta incidência de ocupações irregulares, principalmente em áreas consideradas de preservação permanente. Nesses locais, o avanço desordenado da urbanização provoca o assoreamento dos rios e a redução das áreas naturais de escoamento e infiltração, intensificando os episódios de alagamentos e enchentes. Além disso, o descarte irregular de resíduos sólidos contribui para o bloqueio dos canais e agravamento dos problemas hídricos (CURITIBA, 2012).

No trecho 4, região compreendida entre a Linha Verde e a foz do rio Belém no rio Iguaçu, a ocupação apresenta características intermediárias, com média densidade urbana, porém, recebe toda a precipitação das regiões periféricas. Possui poucas ocupações irregulares, configurando como área de média vulnerabilidade às inundações, devido à ocupação da área de APP e excesso de detritos em seu leito e suas margens.

Esses fatores revelam que as áreas vulneráveis na bacia do rio Belém não são apenas determinadas pela presença física de edificações ou ocupações, mas também pela interação complexa entre a urbanização desordenada, a insuficiência da infraestrutura de drenagem e o não cumprimento das normas ambientais. A impermeabilização excessiva impede a infiltração natural da água da chuva, aumentando o volume e a velocidade do escoamento superficial, o que, somado à ocupação irregular e à degradação das APPs, resulta em maior frequência e severidade das enchentes urbanas. A identificação dessas áreas vulneráveis permite o direcionamento de estratégias mais eficazes de mitigação com base em SbN.

Além das vulnerabilidades físicas e estruturais, é importante considerar os aspectos sociais e cognitivos da população que habita a bacia do rio Belém. Estudo de percepção ambiental realizado na região revelou que muitos moradores desconhecem a existência do rio e sua importância, mesmo vivendo próximos ao seu curso (LISBOA *et al.*, 2009). A percepção ambiental diminui proporcionalmente com a distância em relação aos rios, e mesmo em áreas com atuação comunitária ativa, como no bairro São Lourenço, observa-se uma baixa percepção de risco ambiental. Esse desconhecimento contribui para a fragilidade das ações de preservação, pois compromete a participação popular

e a compreensão dos impactos da urbanização sobre os processos hidrológicos, intensificando, assim, a vulnerabilidade socioambiental da bacia.

5.3 AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA VERDE

A análise da estrutura verde da bacia, conforme os critérios metodológicos adotados, permitiu verificar a distribuição e a funcionalidade dos parques e áreas vegetadas enquanto SbN. A estrutura verde na bacia do rio Belém é composta, principalmente, pelos parques como o Parque São Lourenço e o Passeio Público, que atuam como elementos centrais da estratégia urbana para mitigação das enchentes. Esses parques foram concebidos para funcionar como reservatórios naturais, absorvendo e retardando o escoamento das águas pluviais, contribuindo para a redução dos riscos de inundação (CURITIBA, 2012).

O Parque São Lourenço atua represando o rio Belém, funcionando como bacia de retenção, a montante da parte central da cidade de Curitiba. O parque tem histórico de conter enchentes, bem como o Parque Barigui, Tingui e Tanguá na bacia Hidrográfica do Rio Barigui, parques alagáveis concebidos para esta função (PEREZ-LANCELOTTI; ZIEDE, 2020).

O Passeio Público foi uma medida estrutural para combate a enchentes, utilizado antigamente como bacia de retenção (CURITIBA, 2012). Foi o primeiro parque de Curitiba e uma SbN, antes mesmo do termo ser cunhado. Apesar do passado como bacia de retenção e atualmente como zona de amortecimento, área verde de lazer, focos de alagamentos encontram-se ao lado do Passeio Público, sendo essa a área mais afetada da região central.

Situados na bacia há outras áreas verdes urbanas não planejadas especificamente como estruturas de retenção de águas como os parques alagáveis – bosque do Papa João Paulo II, Zaninelli, Heinhard Maack, Opera de arame, Jardim Botânico, além de parques lineares, praças e jardins. Entretanto, são fundamentais para a macrodrenagem, aumentando a permeabilidade, agindo como esponjas urbanas e retardando o escoamento. Ressalta-se que um aumento da cobertura vegetal urbana reduz o escoamento superficial significativamente, dependendo da topografia e tipo do solo (YANG; LEE, 2021).

Segundo Bertolino (2016), ao unir dados referentes a áreas verdes, bosques, praças, parques e jardins, verificou-se que apenas 15% da área total da bacia encontra-se apta para aplicação de medidas de baixo impacto (ANEXO E). Essas medidas consideradas estruturais, mas não convencionais, são métodos de armazenamento, infiltração, evaporação e amortecimento do escoamento superficial.

Além disso, a limitação na quantidade de parques alagáveis, principalmente à jusante, e a rede de drenagem convencional comprometem a eficiência do sistema como um todo. A falta de adaptação dos sistemas provoca sobrecarga em determinados pontos da bacia, especialmente em áreas com ocupação irregular e infraestrutura insuficiente. A manutenção deficiente e a ausência de monitoramento contínuo também fragilizam a capacidade funcional desses espaços verdes, potencializando os efeitos adversos das chuvas intensas e frequentes (DE LUCCA, 2013). Essa limitação reforça a importância do planejamento urbano integrado à conservação ambiental, como indicado na abordagem metodológica deste trabalho.

5.4 APLICAÇÃO DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA (SbN)

Com base nas informações levantadas e na pergunta de pesquisa, esta seção discute a aplicação das SbN na bacia do rio Belém, considerando sua eficácia e limitações. A cidade de Curitiba avançou, desde a década de 70, na incorporação de SbN como ferramenta para a gestão sustentável da bacia do rio Belém. A cidade foi eleita como a mais sustentável da América Latina em 2022 devido a ações de recuperação do ambiente urbano, redução dos gases de efeito estufa e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas (CURITIBA, 2024). Os parques alagáveis são exemplos dessa abordagem, oferecendo funções múltiplas que incluem retenção e infiltração de águas pluviais, promoção da biodiversidade e melhoria da qualidade ambiental urbana.

A cidade também participou do projeto Geração Restauração (2023-25), buscando implementar um pacote de medidas para enfrentar desafios políticos, técnicos e financeiros para promover a restauração, especialmente em áreas urbanas, como uma contribuição para a Década das Nações Unidas para a Restauração de Ecossistemas. Sendo que um dos componentes principais está

em incentivar e defender o investimento público e privado na restauração de ecossistemas e na criação de trabalho decente por meio de SbN (CURITIBA, 2024).

A prefeitura da cidade adotou medidas preventivas de limpeza com o programa Amigos dos Rios; dragagem nos lagos de parques alagáveis; e o programa Curitiba Contra as Cheias, que consiste em obras de macrodrenagem que aumentam a capacidade de extravasamento de rios e córregos (CURITIBA, 2022).

Além de parques, outras medidas de baixo impacto, como sistemas de bioretenção, poços secos e trincheiras de infiltração, apresentam potencial para mitigar os efeitos da impermeabilização e reduzir o volume de escoamento superficial. Contudo, a maior parte da bacia, especialmente nas áreas centrais (trecho 2), apresenta baixa aptidão para essas intervenções devido à escassez de espaços livres e à alta densidade construtiva (BERTOLINO, 2016).

Verifica-se, a partir da identificação das áreas vulneráveis e estrutura verde presentes, maior viabilidade a aplicação de medidas de baixo impacto no trecho 1 e 4 da bacia devido à densidade baixa e intermediária e, potencial de áreas verdes. Necessita-se, entretanto, de um monitoramento do uso do solo em razão da expansão urbana e planejamento integrado com a montante para o funcionamento das medidas implantadas. No trecho 3 da bacia, considera-se de média viabilidade devido a densidade urbana, ocupações irregulares em APPs e estrutura verde escassa. Requerendo, portanto, de uma gestão fluvial e abordagem social integrada neste trecho em específico.

Os entraves legais, estruturais e institucionais também limitam a implementação plena das SbN (MISAEL, 2018). A ocupação irregular, o desrespeito às áreas de preservação permanente e a falta de integração entre órgãos públicos dificultam a continuidade e a manutenção dessas soluções (LOHMANN, 2011). Ainda assim, a participação comunitária e o uso de tecnologias geoespaciais para o monitoramento ambiental têm sido apontados como fatores facilitadores para a governança hídrica eficaz (CASTRO *et al.*, 2017, CRUZ *et al.*, 2023).

Como complemento às medidas estruturais e aos parques lineares, Curitiba passará a investir em soluções de baixo impacto como os jardins de chuva, que consistem em canteiros rebaixados com vegetação nativa capazes de reter e infiltrar a água da chuva, contribuindo para a redução do escoamento superficial e da ocorrência de alagamentos. Essa iniciativa, atualiza a redação da Política Municipal de Proteção, Conservação e Recuperação do Meio Ambiente e, representa uma aplicação prática de Soluções Baseadas na Natureza (SbN) em áreas urbanas consolidadas, com potencial de replicação em trechos da bacia do Belém que apresentem espaços livres e vegetação subutilizada (CÂMARA MUNICIPAL DE CURITIBA, 2025). Além de sua função hidrológica, essas intervenções promovem benefícios estéticos, ecológicos e educativos, reforçando a importância de estratégias integradas e adaptativas na gestão de bacias hidrográficas urbanas.

Assim, os resultados apontam que, embora as SbN representem um avanço significativo, sua eficácia plena depende da superação de barreiras institucionais, legais e estruturais já diagnosticadas na revisão bibliográfica. A aplicação das SbN na bacia do rio Belém exige uma abordagem multifacetada que combine planejamento urbano, legislação eficaz, educação ambiental e investimento em infraestrutura verde para garantir resiliência diante das mudanças climáticas e da expansão urbana.

5.5 RECOMENDAÇÕES E PERSPECTIVAS

Para a melhoria da gestão das águas pluviais, mitigação e adaptação às inundações na bacia do rio Belém, recomenda-se um conjunto integrado de ações, incluindo:

- Desassoreamento dos rios e limpeza das margens para restaurar a capacidade de escoamento natural. Tais ações ocorrem, porém, pontualmente em momentos mais críticos (DE LUCCA, 2013);
- Remoção de ocupações irregulares, especialmente em áreas de preservação permanente, para reduzir riscos e restaurar funções ambientais. Entretanto, a simples remoção das ocupações irregulares além do custo social e econômico iria contra a resolução CONAMA n° 369/2006, a qual regula a intervenção ou supressão de vegetação em áreas de preserva-

ção permanente, desde que atendam a critérios específicos, tais como utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental. A resolução tem o objetivo de regularizar as ocupações já consolidadas e impedir novas ocupações e ocupação do meio ambiente (MISAEL, 2018);

- Incentivos à manutenção e ampliação da vegetação urbana, valorizando áreas verdes como instrumentos de mitigação. Principalmente no trecho norte da bacia, pois possui mais áreas verdes livres e maior aptidão a medidas de baixo custo. Controlando o volume d'água que chega no trecho sul, região mais vulnerável a inundações (BERTOLINO, 2016).
- Implantação e ampliação de tecnologias de captação e infiltração pluvial em edificações residenciais e comerciais, como telhados verdes e sistemas de bioretenção. Principalmente na região central onde é mais impermeabilizado e sem pontos livres para criação de áreas verdes ou medidas de baixo impacto (DE LUCCA, 2013)
- Fortalecimento da comunicação entre legislações e tomadores de decisões; integração entre os órgãos municipais, estaduais e federais e incentivo à participação comunitária;
- Ampliação da discussão sobre SbN através da incorporação de estudos de caso nacionais e internacionais para avaliar boas práticas e adaptações possíveis;
- Criação e fortalecimento de plataformas digitais participativas em que a população possa contribuir com informações georreferenciadas sobre focos de inundação. Essa ferramenta possibilitaria o mapeamento colaborativo de áreas críticas, auxiliando na identificação de pontos recorrentes de alagamento e subsidiando a tomada de decisão por parte do poder público. Além disso, promove a conscientização da população local sobre os riscos e incentiva a corresponsabilidade na gestão urbana.
- Promover ações educativas que revelem a presença da bacia hidrográfica no espaço urbano. Os rios canalizados e encobertos tornam-se invisíveis à população, dificultando a percepção do sistema hídrico e seu papel nos eventos de inundação. Iniciativas como sinalização pública, in-

tervenções artísticas e trilhas hídricas urbanas podem resgatar o protagonismo desses cursos d'água na paisagem da cidade e fortalecer o senso de pertencimento da comunidade à bacia.

A seguir, apresenta-se um quadro-síntese das recomendações propostas, relacionando os principais problemas identificados na bacia do rio Belém com as soluções sugeridas e seus respectivos desafios de implementação:

QUADRO 1 - SÍNTESE DAS RECOMENDAÇÕES PARA MITIGAÇÃO DE INUNDAÇÕES NA BACIA DO RIO BELÉM

Trecho	Principais Características	Problemas Identificados	Estrutura Verde Existente / SbN	Propostas / Recomendações	Viabilidade e Desafios
Trecho 1 (Nascentes até Parque São Lourenço)	Menor densidade urbana; Alta permeabilidade; Áreas verdes preservadas	Poucos focos de alagamento; Risco crescente de expansão urbana futura	Parque São Lourenço; Áreas com potencial para SbN	Preservar áreas verdes existentes; Aplicar medidas de baixo impacto	Alta viabilidade; Exige monitoramento e controle do uso do solo
Trecho 2 (Parque São Lourenço até rodoferroviária)	Alta densidade urbana; Presença de esgoto in natura nos rios	Área mais vulnerável da bacia; Frequentes inundações; Canalização de rios	Passeio Público; Presença pontual de áreas verdes;	SbN (telhados verdes, pavimentos permeáveis); Ampliar conexão com parques	Baixa viabilidade estrutural; Alta prioridade; Necessita articulação institucional
Trecho 3 (Rodoferroviária até Linha Verde)	Ocupações irregulares em APPs; Assoreamento e descarte irregular de resíduos	Bloqueios em canais; Infiltração reduzida; Risco ambiental e social elevado	Estrutura verde escassa; Potencial de intervenção em APPs degradadas	Recuperar APPs degradadas; Regularizar ou realocar ocupações irregulares com base no CONAMA 369/06; Campanhas de educação ambiental	Viabilidade média; Necessita gestão fluvial e abordagem social integrada
Trecho 4 (Linha Verde até a foz no Rio Iguaçu)	Densidade urbana intermediária; Recebe escoamento de toda a bacia	Assoreamento leve; Presença de detritos; Inundações pontuais	Áreas de APP parcialmente ocupadas; Potencial para ampliação de áreas verdes	Desassoreamento regular; Controle de resíduos; Ampliação de vegetação ribeirinha	Viabilidade média a alta; Requer planejamento integrado com região a montante

Fonte: Lohmann, 2011; Curitiba, 2012, De Lucca, 2013, Bertolino, 2016; Misael, 2018; Garcias, 2020; Siqueira, 2022.

Essas recomendações visam promover um modelo de gestão sustentável e resiliente para a cidade de Curitiba, entretanto, é evidente que a estrutura da cidade já formada dificulta a criação de espaços e obras que atendam as necessidades para mitigar enchentes. Portanto, além das ações propostas, salienta-se a necessidade de medidas de adaptação à estrutura que se encontra estabelecida na cidade e a fatores irreversíveis a pequeno e curto prazo, como as mudanças climáticas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta seção busca sintetizar criticamente os principais resultados obtidos, respondendo diretamente à problemática proposta no início do trabalho: as SbN da bacia do rio Belém ainda cumprem sua função eficazmente? Para tanto, os objetivos propostos – identificar as áreas vulneráveis, analisar a estrutura verde urbana e discutir a eficácia das SbN frente às inundações – foram realizados por meio de uma abordagem metodológica fundamentada em revisão bibliográfica e documental.

Constatou-se que as SbN continuam sendo elementos relevantes na mitigação dos efeitos das chuvas intensas, mas sua eficácia atual é parcial, condicionada por fatores estruturais, espaciais e institucionais. A condição das áreas urbanas à jusante, onde predominam ocupações irregulares, a impermeabilização extrema e a drenagem canalizada, limita severamente a capacidade desses parques de funcionarem de forma integrada ao sistema hidrológico urbano. Nesse sentido, a resposta à pergunta de pesquisa é ambígua: os parques cumprem parcialmente sua função, mas encontram-se sobrecarregados e exigem adaptações ao sistema urbano e hidrológico atual para manterem sua efetividade.

Observa-se também uma tensão estrutural entre o crescimento urbano e a lógica ecológica que sustenta as SbN. A expansão urbana sobre áreas ambientalmente sensíveis, o descumprimento da legislação ambiental e a falta de integração institucional colocam em risco a continuidade e a ampliação dessas soluções. Embora Curitiba seja referência nacional e latino-americana em urbanismo verde, a bacia do rio Belém evidencia contradições entre o discurso da sustentabilidade e a realidade da gestão urbana em regiões densamente construídas.

Ainda assim, os resultados obtidos neste trabalho apontam para o potencial latente das SbN quando aliadas a instrumentos de planejamento territorial mais eficazes, participativos e orientados à justiça socioambiental. Os trechos 1 e 4 da bacia, por exemplo, demonstram maior viabilidade para a consolidação de estratégias de drenagem sustentável, graças à presença de áreas verdes e menor adensamento. Já o trecho 2 evidencia a urgência de

soluções híbridas que combinem infraestrutura cinza e verde, com forte apoio institucional e comunitário.

Projeções futuras indicam que, diante do agravamento das mudanças climáticas e do aumento da frequência de eventos extremos, a adoção de SbN não poderá ser pontual, mas estruturante e integrada. Será necessário rever planos diretores, fortalecer a legislação ambiental e promover ações intersetoriais que articulem políticas habitacionais, de saneamento e de infraestrutura com a conservação da natureza em áreas urbanas.

Por fim, a pesquisa confirma a importância das SbN como instrumentos eficazes, porém limitados para o enfrentamento de inundações. Sua manutenção como ferramentas de resiliência urbana dependerá de investimentos contínuos, planejamento integrado por bacia hidrográfica e até por subbacias, e uma nova cultura urbana que reconheça a água como elemento do território a nos adaptarmos, e não como algo a ser domesticado.

Dessa forma, os objetivos do trabalho foram atingidos, e a problemática foi enfrentada de forma crítica e fundamentada, oferecendo subsídios para futuras investigações, políticas públicas e práticas de gestão ambiental urbana baseadas na natureza.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-FATTAH, M. *et al.* Evaluation of structural measures for flash flood mitigation in Wadi Abadi Region of Egypt. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 26, n. 2, p. 1–15, 2021. DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0002034.
- BARBOSA, W. F. *et al.* Planejamento urbano e gestão de riscos: estudo de caso sobre a sub-bacia do rio Pinheirinho, Curitiba – PR, Brasil. **Ciência e Sustentabilidade**, v. 8, n. 2, p. 96–120, 2025. DOI: 10.56837/ces.v8i2.1315.
- BERTOLINO, A. *et al.* Medidas de baixo impacto para o controle de alagamentos e inundações aplicadas na bacia hidrográfica do rio Belém em Curitiba, Paraná. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.13 n.23; p. 764-779, 2016.
- CALDANA, N. F. S. *et al.* Extreme events of precipitation and occurrences of flooding, runoff and inundation in the Metropolitan Region of Curitiba, Brazil. **Geografia em Questão**, v. 14, p. 143–164, 2021.
- CÂMARA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Mudanças climáticas**: aprovado projeto contra enchentes em Curitiba. Curitiba: Câmara Municipal, 23 set. 2025. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.leg.br/informacao/noticias/mudancas-climaticas-aprovado-projeto-contra-enchentes-em-curitiba>
- CASTRO, C. O. *et al.* Water sustainability assessment for the region of Curitiba. **International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development**, v. 8, n. 2, p. 184–194, 2017. DOI: <https://doi.org/10.12972/susb.20170016>.
- CORTEZ, B. N. *et al.* Nonstationary extreme precipitation in Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v. 67, n. 9, p. 1372–1383, 2022. DOI: 10.1080/02626667.2022.2075267.
- CRUZ, L. G. de A. *et al.* Hydrologic and hydraulic modeling to assess the efficiency of structural flood control measures: case study of Audi-União District in the city of Curitiba, Brazil. **Revista Ambiente & Água**, v. 18, 2023. DOI: 10.4136/1980-993X.
- CUNICO, C.; LOHMANN, M. Vulnerabilidade socioambiental de Curitiba: correlação com os eventos de alagamentos registrados entre 2005 e 2010 pela Defesa Civil Municipal. **Geografia: Ensino & Pesquisa**, v. 21, n. 3, 2017. DOI: 10.5902/2236499424724.
- CURITIBA (Município). Curitiba aposta em soluções baseadas na natureza para prevenir enchentes. **Prefeitura Municipal de Curitiba**, 2 mar. 2022. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/curitiba-aposta-em-solucoes-baseadas-na-natureza-para-prevenir-enchentes/67161>. Acesso em: 4 ago. 2025.

CURITIBA (Município). Curitiba é selecionada como cidade modelo em projeto da ONU. **Prefeitura Municipal de Curitiba**, 10 jun. 2024. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/curitiba-e-selecionada-como-cidade-modelo-em-projeto-da-onu/71098>. Acesso em: 4 ago. 2025

CURITIBA. Prefeitura Municipal. **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Curitiba. Curitiba, 2012. v. 2**: Manual de Drenagem. Disponível em: <https://mid.curitiba.pr.gov.br/2018/00238310.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2020.

CURITIBA. Prefeitura Municipal. **Plano Setorial de Saneamento Básico. v. 1**: Panorama geral do saneamento básico em Curitiba. Curitiba: Prefeitura Municipal de Curitiba, 2025. 87 p.

DE-SOUZA, R. *et al.* Sponge city development in Accra: a sustainable solution in mitigating perennial flooding. **European Journal of Ecology, Biology and Agriculture**, v. 2, n. 2, p. 122–132, 2025. DOI: 10.59324/ejeba.2025.2(2).12.

GEISSLER, H. J.; LOCH, R. E. M. Análise histórica das enchentes em Curitiba – PR, medidas propostas e consequências observadas. Florianópolis: **Universidade Federal de Santa Catarina**, 2004.

GOUDARD, G.; MENDONÇA, F. A. Eventos pluviais extremos em Curitiba (Paraná): entre antigos problemas e novos desafios. In: **Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento**. [S.l.], p. 1919–1930, 2017. ISBN: 9788585369163. DOI: 10.20396/sbgfa.v1i2017.2402.

GÜL, G. O.; HARMANCIOĞLU, N.; GÜL, A. A combined hydrologic and hydraulic modeling approach for testing efficiency of structural flood control measures. **Natural Hazards**, v. 54, n. 2, p. 245–260, 2010. DOI: 10.1007/s11069-009-9464-2.

HUANG, Y. *et al.* Nature-based solutions for urban pluvial flood risk management. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v. 7, n. 3, p. 1–17, 2020. DOI: 10.1002/wat2.1421.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas da população residente com data de referência em 1º de julho de 2024**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 3 jul. 2025.

INTERGOVERNANMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2021: the Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson-Delmotte. Cambridge University Press (in press), 2021.

JI, L.; RAO, F. Comprehensive case study on the ecologically sustainable design of urban parks based on the sponge city concept in the Yangtze River Delta Region of China. **Sustainability** (Switzerland), v. 15, n. 5, 2023. DOI: 10.3390/su15054184.

LARBI, M.; KELLETT, J.; PALAZZO, E. Urban sustainability transitions in the Global South: a case study of Curitiba and Accra. **Urban Forum**, v. 33, n. 2, p. 223–244, 2022. DOI: 10.1007/s12132-021-09438-4.

LAZZARI, Davi; GARCEZ, Amália; POLTOZI, Nicole; POZZI, Gianluca; BRITO, Carolina. Identification of extreme weather events and impacts of the disasters in Brazil. **Springer Nature**, arXiv preprint arXiv:2409.16309, 2024. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2409.16309>

LI, J.; GUO, Z. Leveraging greenspace to manage urban flooding: an investigation of nature-based solutions implementation in U.S. public parks. **Land**, v. 13, n. 9, 2024. DOI: 10.3390/land13091531.

LISBOA, J. M. *et al.* Mapeamento da percepção ambiental dos moradores da bacia hidrográfica do rio Belém utilizando o SPRING. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 14., 2009, Natal. Anais [...]. São José dos Campos: INPE, 2009. p. 3613–3619. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/266895553>

LIU, W.; CHEN, W.; PENG, C. Assessing the effectiveness of green infrastructures on urban flooding reduction: a community scale study. **Ecological Modelling**, v. 291, p. 6–14, 2014. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2014.07.012.

LOHMANN, M. **Regressão logística e redes neurais aplicadas à previsão probabilística de alagamentos no município de Curitiba**, PR. 2011. 230 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

MACEDO, J. Planning a sustainable city: the making of Curitiba, Brazil. **Journal of Planning History**, v. 12, n. 4, p. 334–353, 2013. DOI: 10.1177/1538513213482093.

MARTÍN MUÑOZ, S. *et al.* Urban stormwater management using nature-based solutions: a review and conceptual model of floodable parks. **Land**, v. 13, n. 11, p. 1–24, 2024. DOI: 10.3390/land13111858.

MEDEIROS, F. J. de; OLIVEIRA, C. P. de; AVILA-DIAZ, A. Evaluation of extreme precipitation climate indices and their projected changes for Brazil: from CMIP3 to CMIP6. **Weather and Climate Extremes**, v. 38, p. 100511, dez. 2022. DOI: 10.1016/j.wace.2022.100511.

MISAEEL, G. Y. M. Áreas de preservação permanente, usos conflitantes e cobertura vegetal: um estudo comparativo na bacia do rio Belém, Curitiba – PR. **Revista Tecnologia e Ambiente**, v. 24, p. 81-97, 2018.

MOURA, E. N.; FRENZEL, A. S.; MOURA, I. I. de. Inundações no meio urbano e vulnerabilidade social: estudo de caso em Curitiba, Brasil. **Redes**, v. 24, n. 2, p. 122–142, 2019. DOI: 10.17058/redes.v24i2.13251.

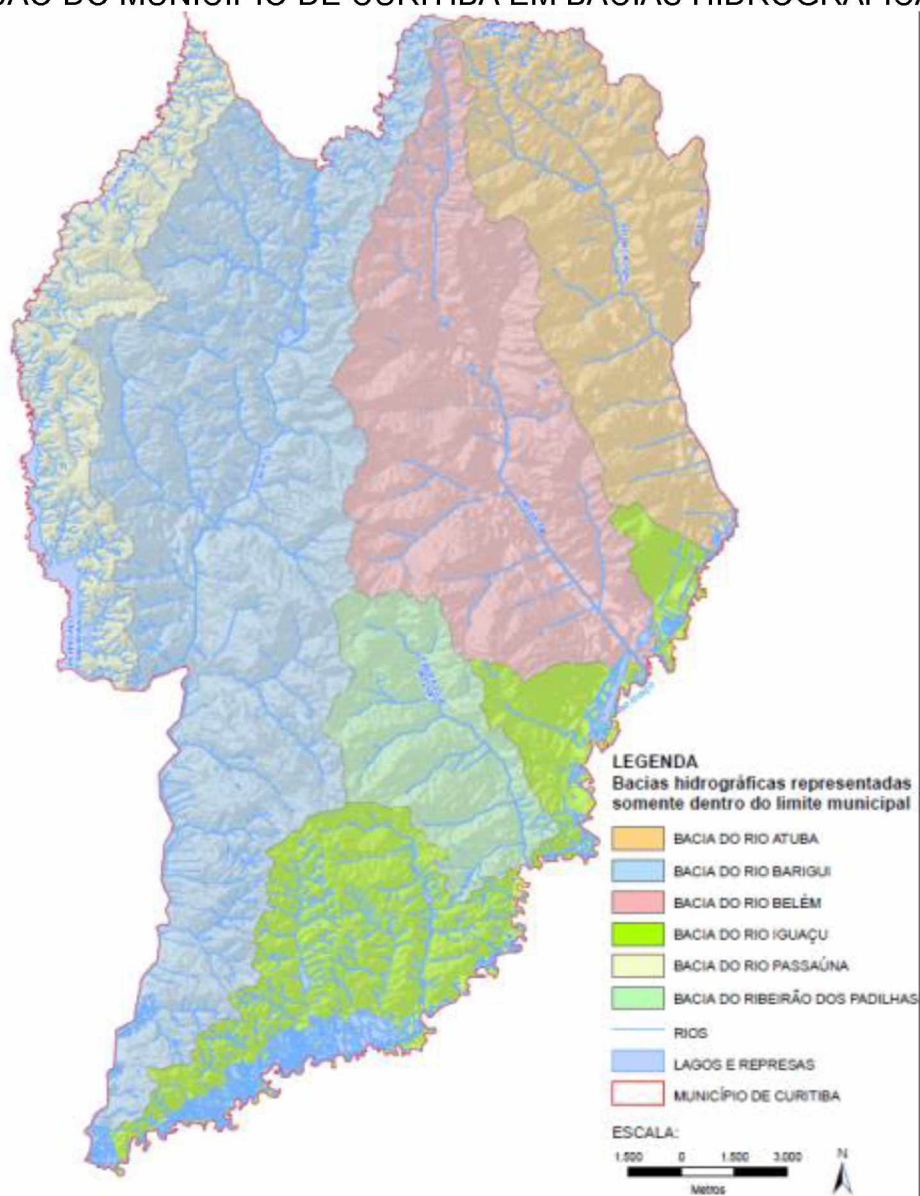
PEREZ-LANCELOTTI, G.; ZIEDE, M. Shifting from a risk mitigation project to an adaptation project: the case of Curitiba's Lagoon parks. IOP Conference Series: **Materials Science and Engineering**, v. 960, n. 4, p. 1–11, 2020. DOI: 10.1088/1757-899X/960/4/042072.

REN, X. *et al.* Effect of infiltration rate changes in urban soils on stormwater runoff process. **Geoderma**, v. 363, 2020. DOI: 10.1016/j.geoderma.

SIQUEIRA, M. A. *et al.* Bacia hidrográfica do rio Belém, na cidade de Curitiba (PR): uma visão geral da impermeabilização excessiva. **Estrabão**, v. 3, p. 159-173, 2022.

WANG, J.; WAH YU, C.; CAO, S. J. Urban development in the context of extreme flooding events. **Indoor and Built Environment**, [s.l.], v. 31, nº 1, p. 3–6, 2022. ISSN: 14230070, DOI: 10.1177/1420326X211048577.

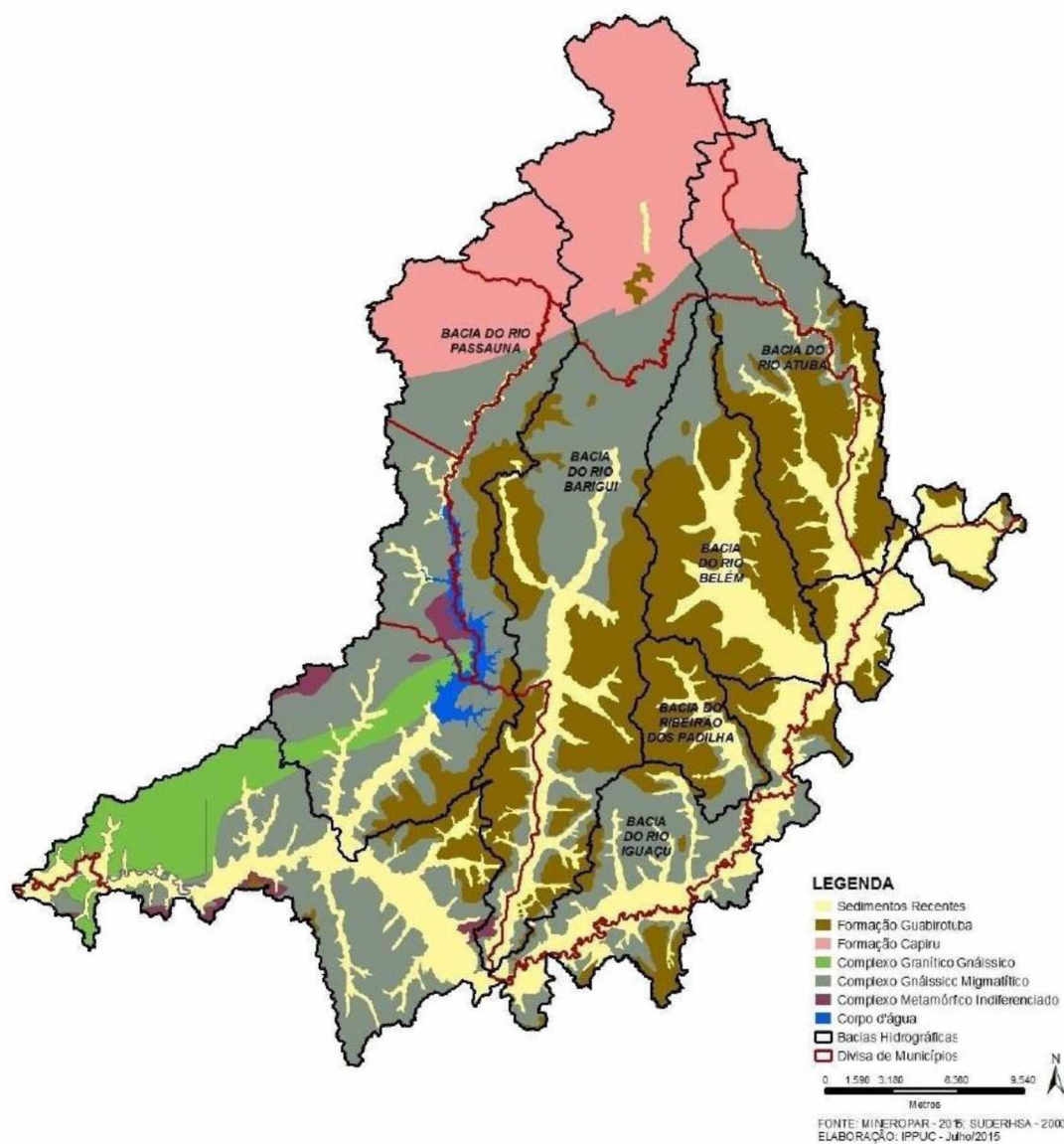
ZIERSEN, J.; CLAUSON-KAAS, J.; RASMUSSEN, J. The role of Greater Copenhagen utility in implementing the city's Cloudburst Management Plan. **Water Practice and Technology**, [s.l.], v. 12, nº 2, p. 338–343, 2017. ISSN: 1751231X, DOI: 10.2166/wpt.2017.039.

ANEXO A**DIVISÃO DO MUNICÍPIO DE CURITIBA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS**

FONTE: IPPUC/ SUDERHSA, 2010.

ANEXO B

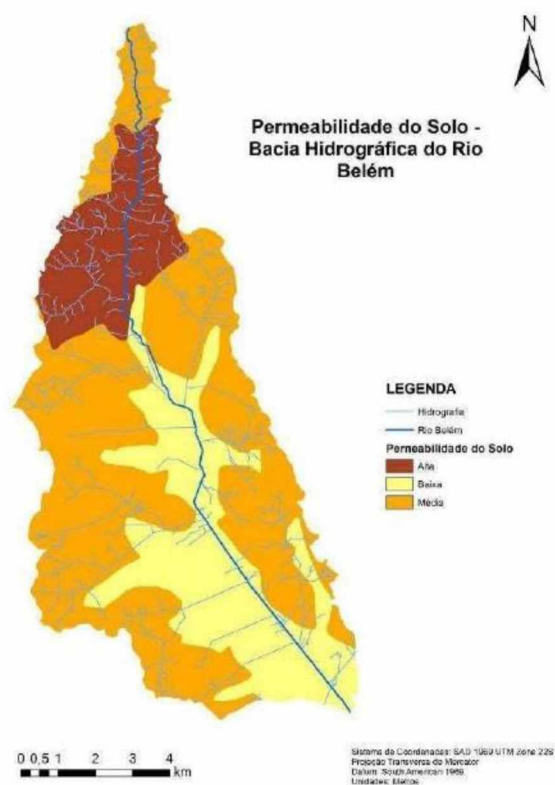
MAPA GEOLÓGICO DE CURITIBA



FONTE: MINEROPAR, 2015/ SUDERHSA, 2000. Elaboração IPPUC, 2015.

ANEXO C

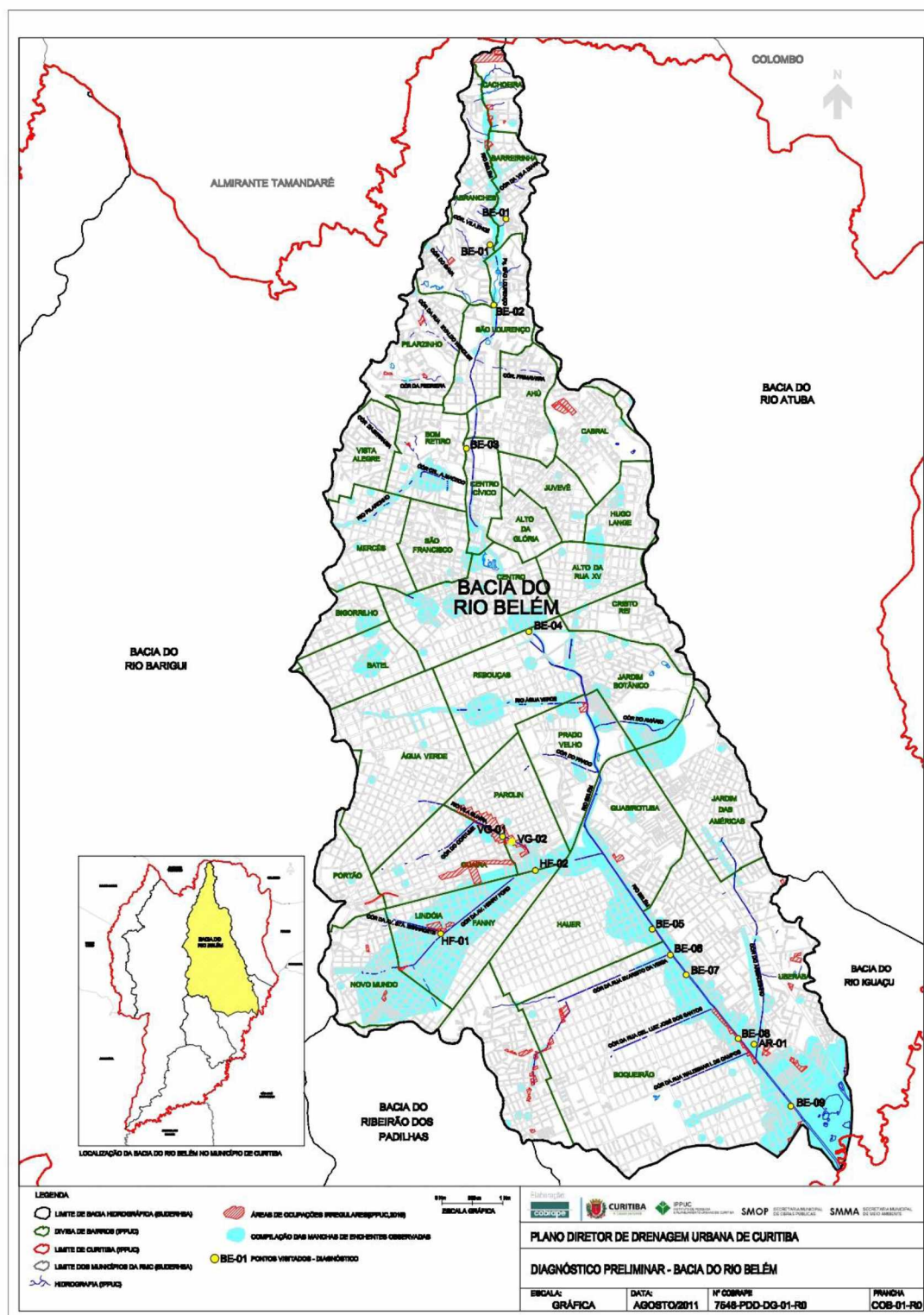
MAPA DE PERMEABILIDADE DOS SOLOS NA BACIA DO RIO BELÉM.



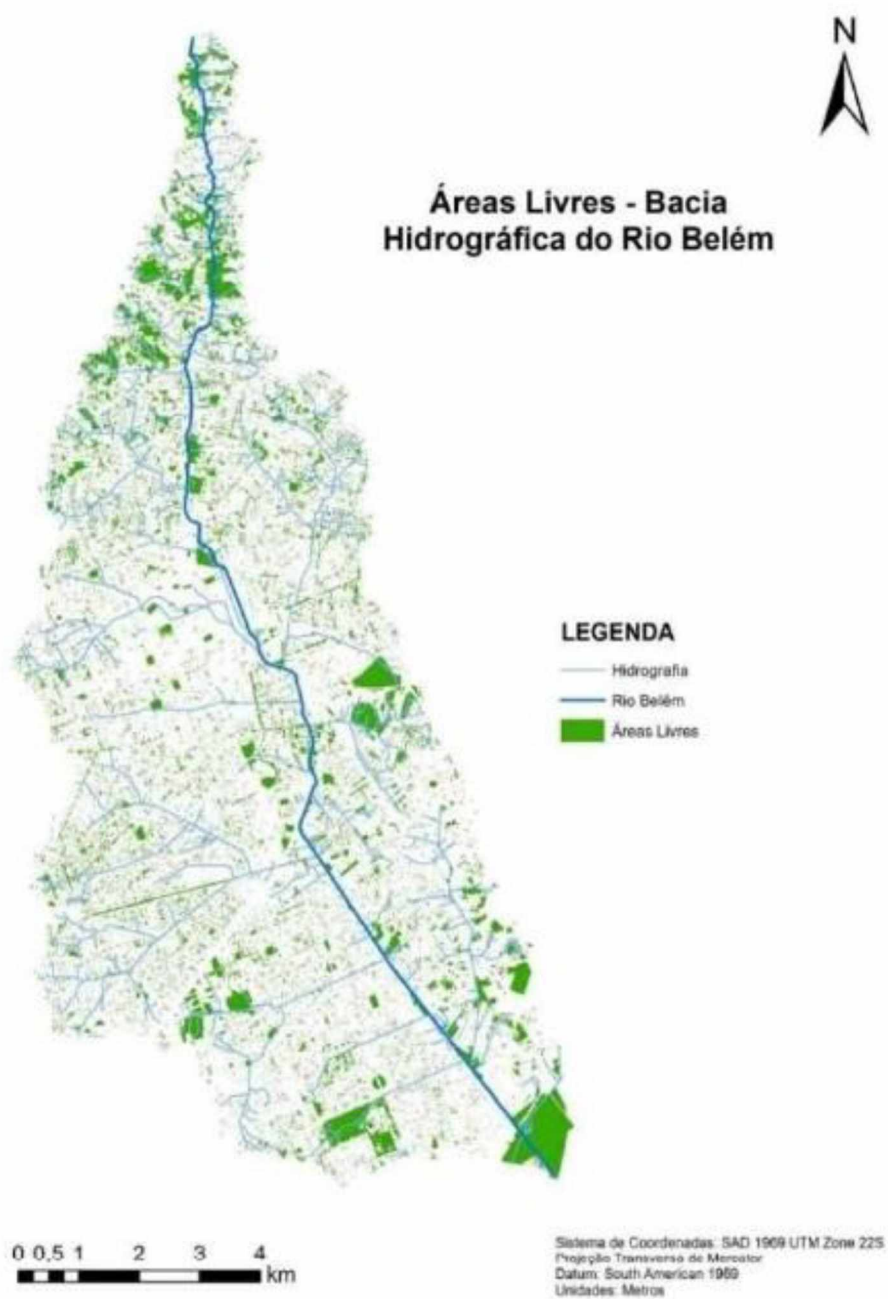
FONTE: IPPUC, 2016. Adaptado por Bertolino (2016).

ANEXO D

BACIA DO RIO BELÉM



FONTE: Plano Diretor de Drenagem Urbana de Curitiba, 2012.

ANEXO E**ÁREAS LIVRES DA BACIA DO RIO BELÉM**

FONTE: IPPUC, 2016. Adaptado por Bertolino (2016).