

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

INFRAESTRUTURA VERDE EM ÁREAS IRREGULARES: APLICAÇÃO DE SISTEMAS DE DRENAGEM BASEADOS NA NATUREZA EM COMUNIDADE RIBEIRINHA DO RECIFE-PE.

Letícia Costa Coutinho Ramos¹ ; Letícia Paula Anes Leão da Silva² ; Matheus Fernandes Santos³ ; Ademar Thiago de Mendonça Ferreira⁴ ; Micaella Raissa Falcão de Moura⁵ ; Anna Elis Paz Soares⁶ & Simone Rosa da Silva⁷

ABSTRACT – The present study aims to propose a sustainable urban drainage system tailored to the physical and environmental conditions of a riverside community in Recife–PE. Given the intensification of extreme rainfall events and the vulnerability of informal settlements, nature-based solutions (NBS) emerge as an efficient and integrative alternative to conventional drainage systems. The methodological approach involves bibliographic analysis, field data from an executive sanitation project, and a qualitative-quantitative survey of urban-climatic, hydrological, and socio-spatial characteristics. The results point to the feasibility and benefits of implementing green infrastructure elements, such as bio-retention areas and permeable pavements, in mitigating floods and enhancing local resilience.

RESUMO – O presente estudo visa propor um sistema de drenagem urbana sustentável adaptado às condições físicas e ambientais de uma comunidade ribeirinha no Recife–PE. Diante da intensificação dos eventos pluviométricos extremos e da vulnerabilidade dos assentamentos informais, as Soluções Baseadas na Natureza (SBN) surgem como alternativa eficiente e integradora aos sistemas convencionais de drenagem. A abordagem metodológica inclui análise bibliográfica, dados técnicos de um projeto executivo de esgotamento sanitário e levantamento qualitativo-quantitativo das características urbanas, climáticas, hidrológicas e socioespaciais. Os resultados apontam a viabilidade e os benefícios da implementação de elementos de infraestrutura verde, como áreas de bio-retenção e pavimentos permeáveis, na mitigação de alagamentos e no aumento da resiliência local.

Palavras-Chave – drenagem urbana sustentável; infraestrutura verde; áreas ribeirinhas.

1) Graduanda em Engenharia Civil - Universidade de Pernambuco (UPE-POLI), R. Benfica, 455 - Madalena, Recife-PE, (81) 99574-2179, lccr@poli.br

2) Graduanda em Engenharia Civil - Universidade de Pernambuco (UPE-POLI), R. Benfica, 455 - Madalena, Recife-PE, (81) 98116-7066, lpals@poli.br

3) Graduando em Engenharia Civil - Universidade de Pernambuco (UPE-POLI), R. Benfica, 455 - Madalena, Recife-PE, (87) 99974-2789, mfs6@poli.br

4) Graduando em Engenharia Civil - Universidade de Pernambuco (UPE-POLI), R. Benfica, 455 - Madalena, Recife-PE, (81) 99905-7793, atm2@poli.br

5) Prof^a Dra. Dep. Engenharia Civil-Universidade de Pernambuco (UPE-POLI), R. Benfica, 455 - Madalena, Recife-PE, 81.9988750867, mrfm_pec@poli.br

6) Prof^a Dra. Dep. Engenharia Civil-Universidade de Pernambuco (UPE-POLI), R. Benfica, 455 - Madalena, Recife-PE, anna.soares@poli.br

7) Prof^a Dra. Dep. Engenharia Civil-Universidade de Pernambuco (UPE-POLI), R. Benfica, 455 - Madalena, Recife-PE, simonerosa@poli.br

1. INTRODUÇÃO

A urbanização acelerada nas cidades brasileiras tem gerado ocupações informais em áreas ambientalmente frágeis, como margens de rios, encostas e manguezais, especialmente em centros urbanos como Recife. Esse fenômeno ocorre sem planejamento adequado e agrava os riscos climáticos e sanitários, resultando em alagamentos frequentes, insegurança hídrica e degradação ambiental.

A ausência de infraestrutura básica nessas áreas — como saneamento, drenagem e abastecimento regular de água — expõe a população a doenças, perdas materiais e exclusão social, conforme estabelecido pela Lei nº 14.026/2020, que atualiza o marco legal do saneamento básico no Brasil, reconhecendo a necessidade de universalização e eficiência dos serviços, mas ainda com desafios significativos em áreas irregulares.

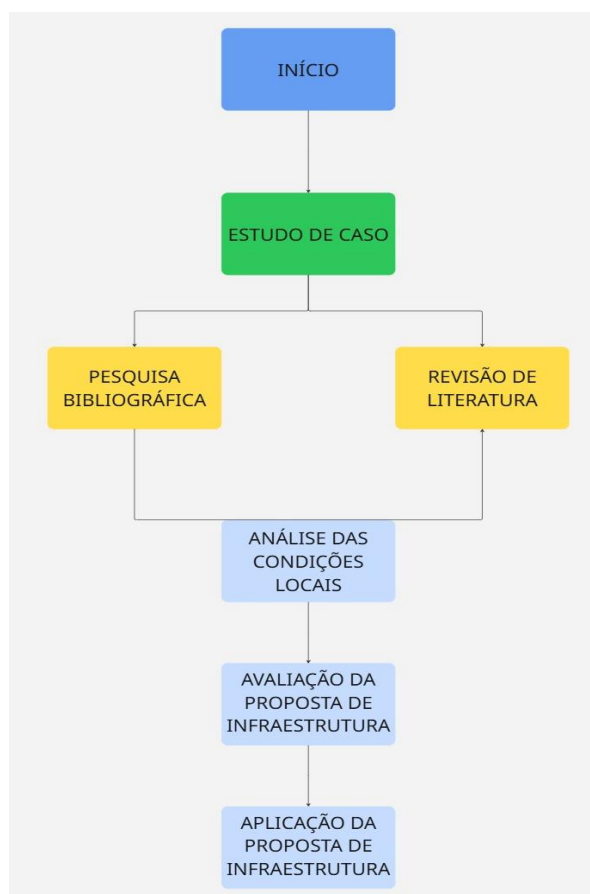
Diante desses problemas, Soluções Baseadas na Natureza (SBN) surgem como alternativas eficazes, integradas e sustentáveis para a gestão da drenagem urbana. Segundo (García et al. 2021), essas soluções restauram ou imitam processos ecológicos naturais, promovendo benefícios ambientais, sociais e econômicos. A abordagem das "cidades-esponja" (Sponge Cities), conforme discutido por Zhou (2014), também destaca o papel da infraestrutura verde na absorção, retenção e reaproveitamento da água da chuva, reduzindo alagamentos e melhorando a qualidade da água.

A proposta deste artigo é contribuir com uma estratégia de drenagem urbana sustentável adaptada à realidade física e socioambiental de uma comunidade ribeirinha recifense, por meio da aplicação de SBN e da modelagem ambiental integrada. Com base na metodologia de Benedict e McMahon (2006), que trata infraestrutura verde como uma rede estrategicamente planejada de áreas naturais, semi-naturais e outras características ambientais, o estudo busca responder às limitações técnicas dos sistemas tradicionais.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa adota uma abordagem quali-quantitativa, buscando integrar a interpretação de aspectos subjetivos e contextuais com a análise de dados numéricos obtidos no campo. Quanto aos objetivos, caracteriza-se como uma pesquisa descritiva e explicativa, uma vez que procura descrever as características da comunidade ribeirinha estudada e explicar os desafios e possibilidades da aplicação de sistemas de drenagem sustentáveis nesse contexto. A Figura 1 apresenta as etapas desenvolvidas para alcance do objetivo deste artigo.

Figura 1 - Fluxograma metodológico



Fonte: Autores

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, trata-se de uma pesquisa bibliográfica, análise de dados secundários e estudo de caso. O estudo de caso foi realizado em uma comunidade ribeirinha localizada no município do Recife, Pernambuco, com base em informações do Projeto Executivo de Saneamento Integrado elaborado por um consórcio técnico contratado pela gestão pública local. Esse projeto incluiu diagnóstico técnico-sanitário da área, projeções populacionais, análise fundiária, propostas de redes coletoras e alternativas técnicas para vias estreitas e áreas de risco, como o uso de redes em eixo de rua, ligações por fundos de lote, proteção mecânica de tubulações e ETEs compactas.

A metodologia deste trabalho foi estruturada com o objetivo de propor soluções sustentáveis e baseadas na natureza (SbN) para os desafios de drenagem urbana enfrentados por uma comunidade ribeirinha em área de alta vulnerabilidade socioambiental. A escolha por SbN visa garantir a adaptação das propostas ao contexto físico, ambiental e social local, respeitando os princípios da resiliência urbana e da justiça socioespacial.

2.1. Levantamento de dados e reconhecimento territorial

O primeiro passo metodológico consistiu na análise técnica dos materiais fornecidos pela empresa responsável pelo projeto de urbanização da área, os quais incluíram base cartográfica georreferenciada, planta de parcelamento dos lotes, delimitação da faixa de inundação, e registros das

principais interferências físicas da comunidade. Tais insumos serviram como ponto de partida para a modelagem espacial e o diagnóstico das zonas críticas de drenagem.

A leitura territorial foi complementada por imagens de satélite, levantamentos fotográficos de campo e revisão bibliográfica sobre ocupações ribeirinhas e suas especificidades em relação ao saneamento básico e à drenagem urbana.

2.2. Mapeamento de Zonas de Problema

Com base na base geoespacial e nos insumos fornecidos, foi elaborado um mapeamento das chamadas zonas de problema da comunidade, utilizando os softwares QGIS e Civil 3D. Estas zonas representam trechos do território com maior complexidade técnica para intervenção, devido a fatores como adensamento extremo, falta de acessibilidade, alta impermeabilização e exposição a riscos ambientais.

As zonas foram classificadas conforme os critérios abaixo:

- Zona 1 – Vias estreitas e becos
- Zona 2 – Áreas de margem ribeirinha
- Zona 3 – Entradas de vielas e becos
- Zona 4 – Áreas públicas e de convivência
- Zona 5 – Áreas com solo compactado
- Zona 6 – Áreas sujeitas a alagamentos

Esse mapeamento permitiu uma visão sistêmica e integrada do território, auxiliando na priorização de áreas para intervenção.

2.3. Diagnóstico Socioambiental e identificação de potencialidades

A partir da sobreposição das zonas críticas com dados sobre a topografia, hidrologia, permeabilidade do solo e uso do espaço urbano, foram identificadas as principais causas de alagamentos, obstruções ao escoamento pluvial e áreas com potencial para receber soluções baseadas na natureza.

Cada zona foi analisada não apenas como um obstáculo à infraestrutura tradicional, mas também como uma oportunidade de intervenção resiliente, priorizando o aproveitamento de espaços coletivos e a valorização dos recursos naturais existentes.

2.4. Proposição de diretrizes baseadas na natureza (SbN)

Foram desenvolvidas diretrizes para a implantação de soluções de drenagem urbana sustentáveis e adaptadas ao contexto da comunidade, considerando as tipologias estudadas e recomendadas.

As soluções foram pensadas com base na viabilidade de implantação em ambientes com baixa acessibilidade e alta densidade habitacional, respeitando a morfologia urbana existente e evitando, sempre que possível, a remoção de famílias.

2.5. Integração com os Princípios de Resiliência Humana

Todo o processo metodológico foi guiado pelo compromisso com a promoção da resiliência da comunidade frente aos eventos extremos de precipitação e à crise climática. No entanto, essa resiliência é compreendida não apenas em termos físicos e ambientais, mas também sociais e humanos — reconhecendo a permanência da população no território como um dos principais pilares da estabilidade comunitária.

Diferentemente das soluções tradicionais de drenagem, que frequentemente dependem da remoção de moradias para viabilizar a implantação de redes enterradas e obras pesadas, as soluções baseadas na natureza (SbN) propostas neste trabalho foram pensadas para se integrar à malha urbana existente, respeitando a morfologia da ocupação e evitando a desestruturação social causada por processos de remoção.

Assim, o projeto busca aliar a eficiência técnica com a justiça territorial e o direito à cidade, tornando a infraestrutura ambiental acessível sem comprometer a permanência e o pertencimento das famílias à comunidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Vulnerabilidade e Informalidade

A comunidade ribeirinha estudada apresenta características típicas de áreas vulneráveis: ausência de redes formais de água e esgoto, ocupações sobre leitos de rios e margens instáveis, e serviços de saneamento precários ou inexistentes. As vias da comunidade apresentam condições precárias de acessibilidade para sistemas de drenagem. A comunidade estudada possui uma população atual estimada em 1.323 habitantes (2024), com projeção de crescimento para 1.411 habitantes até 2034. Trata-se de uma área de 4,60 hectares inserida entre o Rio Capibaribe e o Canal Ibiporã, com delimitações por vias públicas. A ocupação densa e desordenada ocorre em área de risco, com construções sobre cursos d'água e dentro de Áreas de Preservação Permanente (APP).

O território carece de infraestrutura urbana básica: a rede coletora de esgoto existente é precária ou inexistente em grande parte, e não há drenagem eficiente. A tipologia urbana, com becos estreitos e construções sobrepostas, inviabiliza soluções convencionais. Estão previstos remoções e reassentamentos para viabilizar parte das intervenções.

3.2. Causas dos Alagamentos

A intensificação das chuvas e a urbanização desordenada, somadas à impermeabilização do solo, têm agravado os episódios de alagamento. Dentre os eventos críticos recentes, destaca-se o episódio de maio de 2022, quando Recife registrou mais de 250 mm de precipitação em 24 horas, ocasionando enchentes e deslizamentos significativos (APAC, 2022). Dados pluviométricos indicam precipitações frequentes acima de 55 mm em único dia no local estudado. A ausência de rede de esgotamento sanitário funcional potencializa a contaminação e dificulta o escoamento das águas. As condições topográficas, com baixa declividade e proximidade com cursos d'água, também contribuem para a recorrência de inundações.

3.3. Mapeamento das Zonas Problema

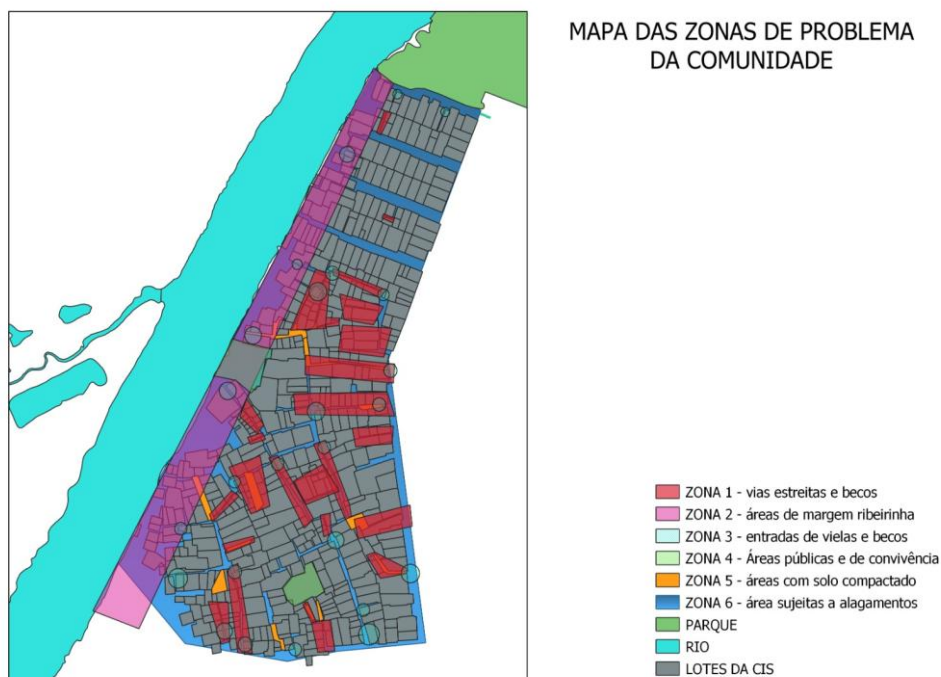
Considerando as características físicas e socioambientais da comunidade analisada, o mapeamento das zonas de problema foi uma etapa essencial para o diagnóstico das áreas com maiores restrições à implementação de sistemas de saneamento. A comunidade em questão está localizada em região ribeirinha, com intensa ocupação em áreas de várzea, ausência de infraestrutura básica e alto adensamento populacional. Essas condições geram um conjunto de obstáculos técnicos e sociais que inviabilizam a aplicação de soluções convencionais.

A partir da base topográfica fornecida por uma empresa de engenharia, foram utilizados os softwares QGIS e Civil 3D para análise da ocupação, identificação da faixa de inundação, cotas altimétricas e acessibilidade. Com o auxílio de dados geográficos e viários, foi possível identificar as zonas de problema, isto é, as áreas onde a implantação de redes coletoras, drenagem ou realocação de unidades habitacionais encontra maior complexidade.

O mapeamento também considerou fatores como ausência de vias regulares, edificações localizadas dentro da faixa de inundação, terrenos com baixa permeabilidade e situações de risco à saúde pública. A sobreposição desses fatores foi classificada em graus de criticidade para facilitar o direcionamento das intervenções. As zonas de problema foram delimitadas em três categorias: alta, média e baixa criticidade.

Além disso, observou-se que o padrão irregular de ocupação exige a realocação de algumas moradias, não apenas por questões técnicas de execução, mas também por segurança dos moradores e preservação do corpo hídrico. As soluções propostas respeitam o conceito de resiliência humana e procuram minimizar deslocamentos, incorporando elementos de infraestrutura verde e tecnologias sociais adaptadas à realidade local. O mapeamento é apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Zonas Problema Identificadas na Comunidade



Fonte: Autores

3.4. Propostas de Soluções Baseadas na Natureza (SBN)

O projeto técnico elaborado prevê 2.443,68 metros de rede coletora, com uso de soluções adaptadas como redes em eixo de rua, ligação por fundos de lote e proteção mecânica das tubulações. Complementarmente, o presente estudo propõe um sistema de infraestrutura verde adaptado às condições específicas da comunidade, visando a melhoria da drenagem urbana, a mitigação de alagamentos e o fortalecimento da resiliência socioambiental.

Para facilitar a aplicação das técnicas, foi elaborada uma matriz que relaciona as zonas da comunidade, os problemas identificados e as soluções sustentáveis mais indicadas, encontradas no **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Quadro 1 - Matriz de zoneamento, problemas identificados e soluções propostas

Zona da Comunidade	Problemas Identificados	Soluções propostas	Justificativa Técnica
Vias estreitas e becos	Escoamento superficial intenso, falta de drenagem	Pavimentos permeáveis; valas laterais vegetadas	Espaço limitado exige soluções compactas que permitam infiltração local
Áreas de margem ribeirinha	Erosão de margens, contaminação da água	Faixas de revegetação com espécies nativas; jardins alagáveis	Proteção contra erosão e filtragem natural da água antes do retorno ao corpo hídrico
Entradas de vielas e becos	Alagamentos por falta de escoamento	Jardins de chuva com sumidouros de brita e areia	Solução de baixo custo e fácil manutenção para redução de pontos críticos de alagamento
Áreas públicas e de convivência	Falta de arborização, impermeabilização excessiva	Bosques urbanos densos; canteiros bioinfiltrantes	Aumenta a infiltração, promove conforto térmico e espaço de lazer social
Áreas com solo compactado	Baixa infiltração e alta impermeabilidade	Tecnossolos permeáveis; microbacias de contenção	Melhora a capacidade de infiltração do solo e controla picos de escoamento
Áreas sujeitas a alagamentos	Acúmulo de água em pontos baixos	Reservatórios subterrâneos compactos; bermas ecológicas	Controla o volume e o fluxo da água pluvial, reduzindo impactos e promovendo retenção natural

Fonte: Autores

As vias estreitas e becos da área de intervenção serão requalificados com a aplicação integrada de pavimentos permeáveis e valas laterais vegetadas, visando a gestão eficiente das águas pluviais e a valorização ambiental do espaço urbano. Os pavimentos permeáveis permitem a infiltração da água da chuva diretamente no solo, reduzindo significativamente o escoamento superficial e contribuindo para a recarga dos aquíferos, conforme destacado por (Oliveira e Costa, 2021). Associadas a essas superfícies, as valas vegetadas funcionam como canais drenantes naturais, conduzindo, infiltrando e filtrando a água pluvial, além de favorecerem a conectividade ecológica (Tomazelli, 2022). Essa combinação de soluções baseadas na natureza promove a redução da sobrecarga nos sistemas de drenagem urbana, melhora a qualidade da água, reduz o risco de alagamentos e contribui para o conforto térmico e paisagístico das áreas urbanas consolidadas.

As áreas de margem ribeirinha do local de intervenção serão revitalizadas por meio da implantação de faixas de revegetação com espécies nativas e jardins alagáveis, com o objetivo de restaurar a função ecológica e hidrológica desses espaços. As faixas vegetadas atuarão na proteção e estabilização das margens, promovendo a regeneração da vegetação ciliar e a conectividade entre ecossistemas, conforme salientam (Tomazelli, 2022) e (Campos, 2021). Associados a elas, os jardins alagáveis funcionarão como dispositivos de retenção e infiltração das águas pluviais, mitigando alagamentos e melhorando a qualidade hídrica, conforme apontado por (LABVerde, 2023). Essa estratégia integrada contribui para o controle da erosão, manutenção do ciclo hidrológico e aumento da biodiversidade, reforçando o papel ambiental das zonas ribeirinhas urbanas.

As entradas de vielas e becos, frequentemente sujeitas a acúmulo de água pluvial e baixa capacidade de drenagem, serão requalificadas com a implantação de jardins de chuva integrados a sumidouros com camadas de brita e areia. Essa solução, além de paisagística, possui alto desempenho na captação e infiltração da água da chuva, funcionando como um sistema natural de filtragem antes que a água alcance o lençol freático (Tomazelli, 2022). A vegetação superficial auxilia na retenção inicial e evapotranspiração, enquanto as camadas inferiores garantem a depuração física e a recarga hídrica. Essa estratégia fortalece a drenagem urbana sustentável, reduz riscos de alagamentos pontuais e contribui para o equilíbrio hídrico do solo em áreas densamente impermeabilizadas.

Áreas públicas e de convivência são essenciais para a promoção do equilíbrio ambiental urbano. Bosques urbanos densos, com alta concentração arbórea, melhoram a biodiversidade local, regulam o microclima e reduzem o escoamento superficial, contribuindo para a mitigação das ilhas de calor e a qualidade do ar (Campos, 2021). Complementarmente, canteiros bioinfiltrantes, compostos por vegetação específica e solo preparado, captam, infiltram e tratam a água da chuva, funcionando como filtros vivos que melhoram a qualidade hídrica urbana e minimizam o impacto do escoamento (Oliveira e Costa, 2021). Essas soluções promovem ambientes mais saudáveis, resilientes e sustentáveis para a convivência urbana.

Em áreas com solo compactado, é essencial restaurar a capacidade de infiltração para controlar o escoamento superficial. Uma solução eficaz são os tecnossolos permeáveis, solos artificiais com alta capacidade de infiltração, que melhoram significativamente a drenagem urbana, reduzindo o escoamento e aumentando a retenção hídrica, conforme destacado por (Tomazelli, 2022). Complementarmente, as microbacias de contenção funcionam como pequenas estruturas para armazenamento temporário da água pluvial, permitindo sua infiltração gradual e evaporação controlada. Segundo (Campos, 2021), essas microbacias regulam o fluxo hídrico em eventos de chuva intensa, prevenindo enchentes e protegendo áreas urbanas vulneráveis. Integradas, essas soluções fortalecem a resiliência hídrica em solos degradados.

Em áreas vulneráveis a alagamentos, os reservatórios subterrâneos compactos representam uma solução eficaz para captar e armazenar a água da chuva, permitindo sua liberação controlada ou reutilização, o que contribui para a gestão hídrica urbana sustentável (UNINOVE, 2020). Complementarmente, bermas ecológicas — faixas vegetadas adjacentes às estradas — favorecem a infiltração do excesso hídrico e diminuem o escoamento superficial, promovendo a melhoria da qualidade ambiental e a drenagem sustentável (Campos, 2021). Essas bermas funcionam como margens verdes que protegem as vias e os ecossistemas, fortalecendo a resiliência urbana frente a eventos de precipitação intensa e reduzindo o risco de enchentes.

As soluções propostas visam mitigar os impactos das chuvas intensas, contaminação do rio e desordenação urbana da comunidade, promovendo inclusão social e recuperação ambiental.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de Soluções Baseadas na Natureza em áreas irregulares, como comunidades ribeirinhas do Recife, mostra-se uma alternativa viável e eficaz para mitigar alagamentos e promover resiliência climática e social. As soluções propostas se mostraram compatíveis com as limitações físicas, técnicas e urbanísticas da comunidade analisada, oferecendo alternativas práticas à ausência de drenagem convencional.

Tais intervenções exigem, contudo, políticas públicas integradas, que considerem a regularização fundiária, inclusão social e participação comunitária como pilares da transformação urbana. A infraestrutura verde deve ser vista não como um luxo ambiental, mas como uma necessidade urgente diante da crise climática e da precariedade habitacional nos centros urbanos brasileiros.

AGRADECIMENTOS - Agradecemos, primeiramente, à universidade, por ser mais do que um espaço de formação técnica - um verdadeiro espaço de descobertas, crescimento e construção intelectual. Às professoras orientadoras, cuja escuta atenta, dedicação e sensibilidade foram fundamentais para transformar desafios em aprendizado. Esta trajetória foi iluminada pelo compromisso e pela confiança depositada, e por isso, o trabalho se consolidou e representa um passo importante desta caminhada acadêmica.

REFERÊNCIAS

a) Livro

BENEDICT, M. A.; McMAHON, E. T. (2006). *Green infrastructure: linking landscapes and communities*. Island Press, Washington, D.C., 299 p.

b) Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)

CAMPOS, M. V. O. (2021). *Avaliação da eficiência de dispositivos de drenagem urbana sustentável na gestão de águas pluviais em loteamentos urbanos*. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, 52 p.

c) Artigo em anais de congresso ou simpósio

GARCÍA, L. *et al.* (2021). “Nature-based solutions for urban stormwater management”. *Journal of Environmental Management*, 280, 111–118.

d) Artigo em revista

MÜLLER, M. R. (2023). “Corredores ecológicos como estratégias de conexão em áreas urbanas fragmentadas”. *Revista LABVERDE*, 1(1), pp. 107–128.

e) Artigo em anais de congresso ou simpósio

OLIVEIRA, A. P. S.; COSTA, T. C. O. (2021). “Infraestrutura verde urbana e drenagem sustentável: propostas para o município de Ourinhos-SP”. In *Anais do XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Balneário Camboriú, 2021, 1, pp. 1–10.

f) Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)

TOMAZELLI, G. V. (2022). *Soluções baseadas na natureza aplicadas ao espaço urbano: propostas de drenagem sustentável no bairro Vila Gaúcha em Erechim-RS*. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 103 p.

g) Dissertação de Mestrado

UNINOVE. (2020). *Natureza, cidade e sustentabilidade: análise crítica das soluções baseadas na natureza e dos serviços ecossistêmicos urbanos*. Dissertação (Mestrado em Cidades Inteligentes e Sustentáveis) – Universidade Nove de Julho, São Paulo, 183 p.

h) Artigo em revista

ZHOU, Q. (2014). “A review of Sponge City implementation in China”. *Water*, 6(4), pp. 1189–1210.