

ANÁLISE INTERPRETATIVA DA IMPORTÂNCIA DE ESTRUTURAS VERDES NA DRENAGEM URBANA: DIAGNÓSTICO EM MUNICÍPIO DE MÉDIO PORTE

*Gislaine de Souza Amaro Oliveira¹; Taiane Regina Hoepers²; Janaina Santana dos Santos³ &
Daniel Costa dos Santos⁴*

RESUMO – Este artigo analisa se há incongruência entre a legislação ambiental, o zoneamento municipal e a ocupação real do solo na bacia do Rio Caxim, em Prudentópolis-PR, com o objetivo de demonstrar interpretativamente a importância das estruturas verdes para a drenagem urbana. A metodologia consistiu em uso de geoprocessamento e na análise técnica e interpretativa de sete cenários de intervenção simulados, demonstrando que o município protege menos do que exigido em legislação, agravando o risco de inundações. Os resultados indicam que a recuperação de Áreas de Preservação Permanente (APP) reduz em 16% a área inundada, sendo mais eficaz do que intervenções estruturais pontuais, e que as infraestruturas verde e cinza são complementares, não excludentes. Conclui-se que o diagnóstico evidenciou um conflito entre a legislação ambiental e a ocupação consolidada do solo, onde a insuficiência de áreas verdes, a ocupação irregular de APP e a geografia local potencializam a vulnerabilidade da bacia. Recomenda-se a adoção de um Plano Municipal de Drenagem Urbana que priorize a realocação de famílias em áreas de risco e a criação de parques lineares nas APP remanescentes, pois a recuperação de APP e matas ciliares provou ser mais eficaz do que intervenções estruturais pontuais.

Palavras-Chave – Drenagem urbana sustentável. Áreas de Preservação Permanente. Integração sistêmica.

ABSTRACT – This paper analyzes whether there is an incongruence between environmental legislation, municipal zoning, and actual land occupation in the Caxim River basin, in Prudentópolis-PR, Brazil, aiming to interpretatively demonstrate the importance of green structures for urban drainage. The methodology consisted of using geoprocessing and the technical and interpretative analysis of seven simulated intervention scenarios, showing that the municipality protects less than required by law, worsening flood risk. The results indicate that the restoration of Permanent Preservation Areas (PPA) reduces the flooded area by 16%, being more effective than isolated structural interventions, and that green and grey infrastructures are complementary, not mutually exclusive. It is concluded that the diagnosis revealed a conflict between environmental legislation and consolidated land occupation, where the insufficiency of green areas, irregular occupation of PPA, and local geography increase the basin's vulnerability to flooding. It is recommended to adopt a Municipal Urban Drainage Plan that prioritizes the relocation of families in risk areas and the creation of linear parks in remaining PPA, since the restoration of PPA and riparian forests has proven more effective than isolated structural interventions.

Key-words – Sustainable urban drainage. Permanent Preservation Areas. Systemic integration.

1) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, gislaineoliveira@ufpr.br

2) Secretaria de Estado da Administração e da Previdência do Paraná, taianehoepers@seap.pr.gov.br

3) Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, sdsjanaina@gmail.com

4) Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná, dcsantos.dhs@ufpr.br

INTRODUÇÃO

O planejamento da drenagem urbana em municípios de médio porte frequentemente enfrenta o desafio da consolidação irregular de áreas às margens de rios, consequência de um processo histórico de urbanização desassociado das diretrizes do Código Florestal Brasileiro, Lei nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012). Enquanto metrópoles, como Barcelona e Vancouver, já consolidadas lutam para reinserir vegetação em tecidos urbanos saturados, conforme Konijnendijk (2023) exemplificou, Prudentópolis vive um momento crítico, porém oportuno: o de ordenar seu crescimento antes que a impermeabilização se torne irreversível.

A preservação e requalificação de terrenos não edificadas, fundos de vale e praças subutilizadas não é apenas uma exigência legal, mas uma estratégia para que esses espaços atuem como reservatórios naturais de detenção e retenção hídrica (MARTINS et al., 2024), aumentando a permeabilidade do solo e reduzindo a sobrecarga sobre os sistemas de drenagem pluvial convencional.

As mudanças climáticas têm ampliado a ocorrência de eventos extremos de precipitação em escala global, com projeções indicando aumento na frequência e intensidade de chuvas torrenciais, enchentes e inundações (MOREIRA et al., 2023; MARENGO et al., 2024). Eventos extremos de precipitação têm se tornado mais frequentes e intensos. O Brasil vivenciou uma tragédia paradigmática em abril-maio de 2024, quando chuvas extraordinárias no Rio Grande do Sul afetaram mais de 90% dos municípios, deslocaram centenas de milhares de pessoas e causaram mais de 170 mortes, expondo a vulnerabilidade das cidades brasileiras a eventos hidrológicos extremos (MARENGO et al., 2024).

Nesse contexto, as Soluções Baseadas na Natureza (SBN) emergem como estratégias promissoras para a adaptação e mitigação dos impactos das mudanças climáticas em áreas urbanas. As SBN são definidas como ações que utilizam processos naturais para entregar serviços ecossistêmicos, combinando infraestrutura verde - vegetação, solos permeáveis - com infraestrutura azul - corpos d'água, áreas de amortecimento - para restaurar o ciclo hidrológico urbano (MARTINS et al., 2024). As infraestruturas verde-azul, organizadas em rede, atuam em múltiplas escalas - desde telhados verdes na escala da edificação até alagados construídos e renaturalização de cursos d'água na escala da bacia -, sendo que sua eficácia hidrológica depende do planejamento integrado que considere variáveis meteorológicas e topográficas (MARTINS et al., 2024).

Para orientar políticas públicas de planejamento urbano, KONIJNENDIJK (2023) propôs a Regra 3-30-300, uma diretriz baseada em evidências que estabelece três metas mensuráveis para cidades resilientes: (i) cada residência, escola ou local de trabalho deve ter 3 árvores visíveis, com

impactos positivos na saúde mental e na regulação microclimática; (ii) cada bairro deve alcançar 30% de cobertura de copa arbórea, condição associada à redução do estresse térmico, interceptação da chuva e amortecimento do escoamento superficial; (iii) cada residência deve estar a no máximo 300 metros de um parque ou área verde pública de pelo menos 1 hectare, promovendo atividades físicas e coesão social. Esta regra é particularmente relevante para municípios de médio porte, que ainda têm a oportunidade de ordenar o crescimento antes que a impermeabilização do solo se torne irreversível, diferentemente das metrópoles já consolidadas (KONIJNENDIJK, 2023).

Este artigo tem como objetivo analisar se existem incongruências entre a legislação ambiental vigente, o zoneamento municipal e a realidade física observada em campo e por sensoriamento remoto. Para tanto, busca-se responder à seguinte questão de pesquisa: como a proteção insuficiente das Áreas de Preservação Permanente (APP) e a ocupação irregular de fundos de vale em Prudentópolis, Paraná, agravam o risco de inundações e de que forma a integração entre as infraestruturas verde e cinza, esta compreendida como as estruturas artificiais e impermeáveis, como canalizações e sarjetas (MIDÃO, 2023), pautada por métricas como a Regra 3-30-300 (KONIJNENDIJK, 2023), pode oferecer um caminho mais resiliente para municípios de médio porte?

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa empregou uma abordagem quanti-qualitativa baseada em geoprocessamento e análise documental. O geoprocessamento foi utilizado para espacializar os conflitos entre a ocupação urbana consolidada e as áreas legalmente protegidas, permitindo a identificação de trechos críticos com ausência de áreas permeáveis e com edificações irregulares em zonas de risco, usando como estudo de caso o Município de Prudentópolis, no Paraná. Para isso, foram utilizadas três bases cartográficas principais.

Primeiramente, os dados de hidrografia (rios Caxim e Belica) serviram de base para a geração do buffer de Área de Preservação Permanente (APP) de 30 metros, conforme estabelece a Lei Federal nº 12.651 (BRASIL, 2012) para cursos d'água de até 10 metros de largura. A análise documental concentrou-se em três instrumentos legais e técnicos: (i) o Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012), para estabelecer o parâmetro legal de proteção das APP que deveria ser cumprido; (ii) o Plano Diretor de Prudentópolis (PMP, 2024), especificamente os Setores Especiais de Áreas Verdes (SEAV), para confrontar o zoneamento ambiental municipal com a exigência federal; e (iii) os dados de terrenos públicos disponibilizados pela Prefeitura Municipal (PMP, 2024), para identificar áreas sob domínio do poder público com potencial para requalificação ambiental.

Adicionalmente, para a compreensão da dinâmica hidrológica local, utilizou-se uma base disponibilizada pelo SIMEPAR (2024) contendo a mancha de inundação simulada para um cenário

de rompimento de barragem de uma estrutura de retenção a montante. Esse mapa foi sobreposto à malha urbana disponibilizada pelo Paranaidade (2024), permitindo avaliar a interação entre o caminho natural da água e as áreas ocupadas. A integração dessas bases teve como objetivo validar a hipótese de que a proteção insuficiente das APP agrava o risco de inundação, ao mesmo tempo em que evidencia a desconexão entre o zoneamento municipal e a realidade física observada em campo.

O recorte temporal da análise é o dia 27 de outubro de 2023, data do segundo dia de um evento pluviométrico de quatro dias seguidos, cujos valores do acumulado diário registrados, estão entre os 10 maiores no período entre fevereiro de 2015 e abril de 2024, representando uma realidade de solo saturado. A metodologia consistiu na análise técnica e interpretativa de sete cenários de intervenção simulados por meio do software HEC-RAS (SIMEPAR, 2024). A análise buscou correlacionar os resultados das manchas de inundação com o mapeamento das Áreas de Preservação Permanente (APP) e o zoneamento de Setores Especiais de Áreas Verdes (SEAV) de Prudentópolis-PR.

O estudo analisado simula a dinâmica de fluxos para validar estratégias de mitigação baseadas em evidências, integrando variáveis climáticas, topográficas e parâmetros hidrológicos como o Curve Number (CN) - estima o escoamento superficial, da qual valores baixos indicam alta infiltração e valores altos indicam superfícies impermeáveis - e o coeficiente de Manning (n) - mede a rugosidade hidráulica, dos quais valores baixos aceleram o fluxo em canais de concreto, enquanto valores altos simulam vegetação densa que reduz a velocidade da água e favorece a infiltração. Dados relevantes foram selecionados a partir de consultas a instituições como SIMEPAR, SNIS, CEMADEN, IAT e FBDS.

Para aprofundar a discussão qualitativa sobre a influência das áreas verdes na resiliência urbana, adotou-se como referencial teórico a regra 3-30-300, proposta por Cecil Konijnendijk (2023), que estabelece diretrizes mensuráveis para cidades sustentáveis: 3 árvores visíveis de qualquer ponto da habitação; 30% de cobertura vegetal por bairro; e 300 metros de distância máxima de uma residência até o parque ou área verde pública mais próximo. A aplicação teórica da regra no contexto de Prudentópolis permite avaliar a distribuição espacial de áreas públicas com potencial para implantação de dispositivos de drenagem verde.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em Prudentópolis, no Paraná, a bacia do Rio Caxim é o eixo central de expansão urbana, onde a alta taxa de impermeabilização do solo conflita com a necessidade de áreas permeáveis para amortecimento de cheias. Os resultados obtidos a partir da sobreposição das bases cartográficas e da análise documental revelaram um cenário de conflito entre o zoneamento ambiental municipal e a ocupação real do solo. Constatou-se uma desproporção crítica entre os Setores Especiais de Áreas

Verdes (SEAV) previstos no Plano Diretor e as áreas efetivamente ocupadas, indicando que o município delimitou menos áreas verdes do que seria necessário para cumprir as exigências legais de proteção.

A sobreposição dos mapas permitiu localizar os imóveis sob domínio do poder público, porém a ausência de classificação quanto ao uso específico desses terrenos - se institucional, lazer ou reserva para expansão - impediu a definição precisa do percentual efetivamente destinado a áreas verdes ou disponível para intervenções de renaturalização em zonas já consolidadas. Identificou-se uma carência aguda de áreas verdes públicas, um elevado índice de impermeabilização do solo e uma escassez de superfícies capazes de promover a infiltração natural da água pluvial, especialmente na região central da bacia. Observou-se, complementarmente, uma lacuna na oferta de equipamentos de lazer, como praças e parques urbanos. Estes achados estão sintetizados na Figura 1, que evidencia visualmente a sobreposição das manchas de inundação, das APP e dos terrenos municipais na área de estudo.

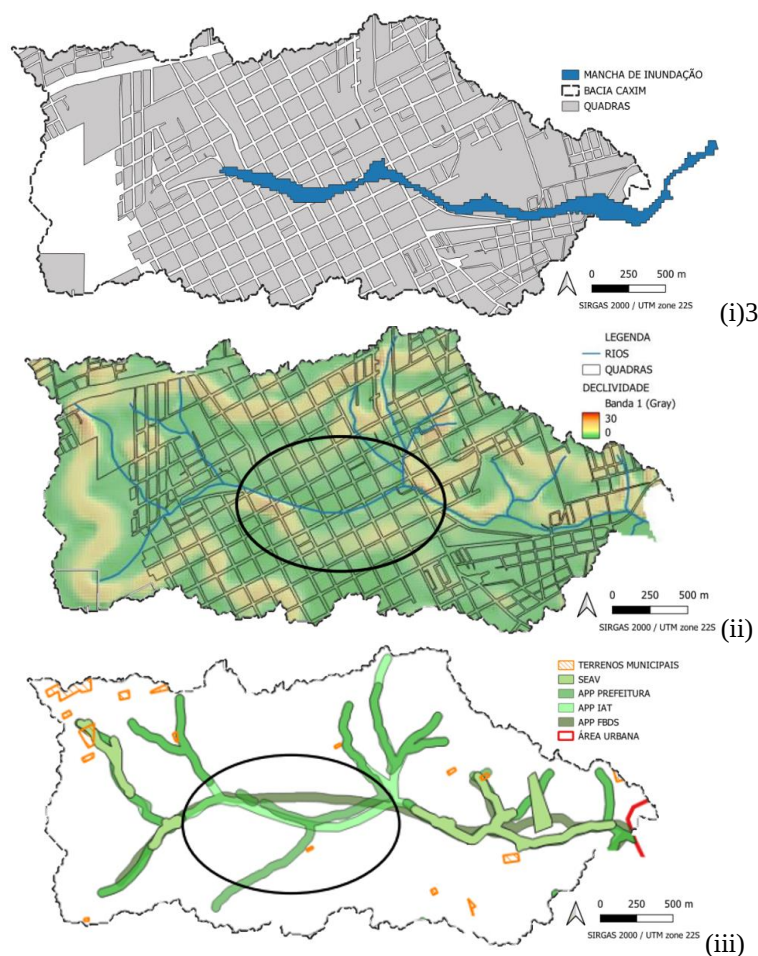


Figura 1 - (i) Mancha de Inundação; (ii) Áreas de Preservação Permanente e Terrenos Municipais; (iii) Áreas de Preservação Permanente e Terrenos Municipais. (Fonte: Autora)

A área de maior consolidação urbana, conforme destacada na Figura 1, apresenta descontinuidade espacial em relação aos SEAV existentes, reforçando a correlação direta entre a ausência de espaços permeáveis institucionalizados e o incremento do risco hidrológico.

A Figura 2 evidencia que, a despeito das diretrizes protetivas do Código Florestal (BRASIL, 2012) e do zoneamento, constata-se uma significativa pressão de ocupação sobre as APP, particularmente nas adjacências do Rio Caxim. Observa-se claramente a presença de edificações consolidadas dentro dos limites estabelecidos como SEAV, ilustrando a prevalência da dinâmica imobiliária sobre a função ecológica e hidrológica dessas zonas de amortecimento.



Figura 2 - Construções em áreas de APP (Dados: Google Earth e PMP, 2024).

Tais evidências reforçam a necessidade de uma abordagem mais rigorosa no planejamento e na fiscalização urbana, visando o respeito estrito às delimitações de APP e a prevenção da sobrecarga das infraestruturas de drenagem. A regularização fundiária associada à remoção de construções irregulares em APP deve figurar como prioridades no planejamento municipal, a fim de garantir a recuperação desses espaços e a mitigação de riscos de desastres.

Uma estratégia eficiente para coibir futuras ocupações irregulares consiste na criação de parques lineares no entorno dessas regiões. A implementação de parques públicos delimitados facilita a fiscalização e o monitoramento ambiental, criando espaços de uso comum protegidos por legislação específica e com maior presença do poder público, funcionando como barreiras verdes contra invasões e oferecendo, simultaneamente, equipamentos de lazer e contato com a natureza.

A topografia natural do Centro de Prudentópolis possui uma área deprimida e plana, situada a jusante de um setor de alta declividade (Figura 1). A água escoada dos arredores montante converge em alta velocidade para a região plana, onde passa a escoar com velocidade reduzida. Essa condição topográfica indica uma clara tendência ao empoçamento, resultando em sobrecarga do sistema de drenagem e alagamento de edificações.

A intensificação do escoamento superficial, acelerada pela consolidação das edificações e impermeabilização progressiva dessa porção da bacia, excede a capacidade do sistema existente. Ao longo do desenvolvimento urbano, a rede de drenagem pode ter sido adaptada de forma corretiva e

não planejada, resultando em uma distribuição espacial fragmentada e insuficiente de pontos de captação. A ocupação urbana limitou o espaço disponível para a implantação de novos dispositivos ou para a ampliação dos existentes.

Mais do que diagnósticos pontuais, o manejo de águas urbanas requer a antecipação de eventos críticos por meio da integração de variáveis ambientais e humanas, garantindo uma visão sistêmica das vulnerabilidades da bacia. A modelagem hidrológica do evento extremo ocorrido em 27 de outubro de 2023 (SIMEPAR, 2024), data em que a precipitação de 93,4 mm representou um cenário crítico de saturação do solo e riscos de inundação sistêmica, avalia sete cenários de intervenção, quantificando a eficácia de medidas estruturais - como a criação de lagos-, e não estruturais - como a proteção de APP. A Tabela 1 sintetiza os resultados desses cenários.

Tabela 1 - Informações dos cenários dos eventos de precipitação 27/10/2023

Cenário	Descrição	Objetivo	Parâmetros alterados	Varição da área atingida
A	Retirada dos bueiros	Verificar efeito da microdrenagem	Terreno sem as representações dos bueiros	14%
B	Retirada de edificações dentro da APP da hidrografia original (15m, hidrografia IAT)	Verificar efeito de retirar ocupação urbana ao redor das APP e reconstituir leitos naturais da hidrografia	Terreno com calha hipotética dos rios Caxim e Belica; na área de APP n (0,1; vegetação) e CN (25; floresta)	-16%
C	Criação de bolsões (lagos) em terrenos próximos à cabeceira do rio Caxim	Amortecer efeitos a jusante	Terreno escavado (canal trapezoidal uniforme); alteração de CN (97) e n (0,025)	-2%
D	Retiradas de edificações em terrenos vulneráveis	Verificar efeito de desocupações	Remoção das edificações nos polígonos; alteração de CN (50) e n (0,1)	0%
E	Formação de lagos em terrenos selecionados após o cenário D	Verificar efeito da criação de dispositivos de armazenamento em locais de possível desocupação	Terreno escavado (canal trapezoidal uniforme); alteração de CN (97) e n (0,025)	2%
F	Aumento da vazão no rio dos Patos	Escoamento no exutório da bacia é afetado pela junção com rio dos Patos	Alteração da condição de contorno no rio dos Patos	2%
G	Drenagem sustentável	Simular o efeito da criação de estruturas de drenagem sustentável	Criação de polígonos com 8 m de diâmetro distribuídos a cada 100 m na área de simulação (polígonos que cruzavam com construções foram excluídos); CN (35*) e n (0,1) para cada polígono	-12%

Fonte: Adaptado de SIMEPAR (2024).

Os mapas de profundidade (Figura 3) organizados em matrizes comparativas indicam a extensão das manchas de inundação, bem como a interação entre dinâmica natural da água e infraestrutura urbana. O estudo ilustra a interação entre a infraestrutura urbana e a dinâmica natural da água, evidenciando o impacto das intervenções na redução das manchas de inundação. O foco incide sobre a região central da bacia do Caxim, epicentro de inundações recorrentes, servindo como base para a orientação de políticas públicas de drenagem urbana. Percebe-se a persistência de riscos em zonas críticas, mesmo após medidas corretivas, expondo a urgência de abordagens integradas que combinem planejamento territorial e inovação técnica.

A análise dos cenários evidencia uma hierarquia de eficácia. O cenário B (Retirada de edificações em APP e renaturalização das margens) foi o único que resolveu o alagamento persistente na Rua Mal. Deodoro, resultando em uma redução de 16% da área inundada. Este resultado corrobora com Martins et al. (2024) que aponta a renaturalização de cursos d'água e a recomposição da cobertura vegetal como medida estruturante para a resiliência hídrica, pois restabelece a calha natural e a rugosidade hidráulica, reduzindo a velocidade de escoamento.

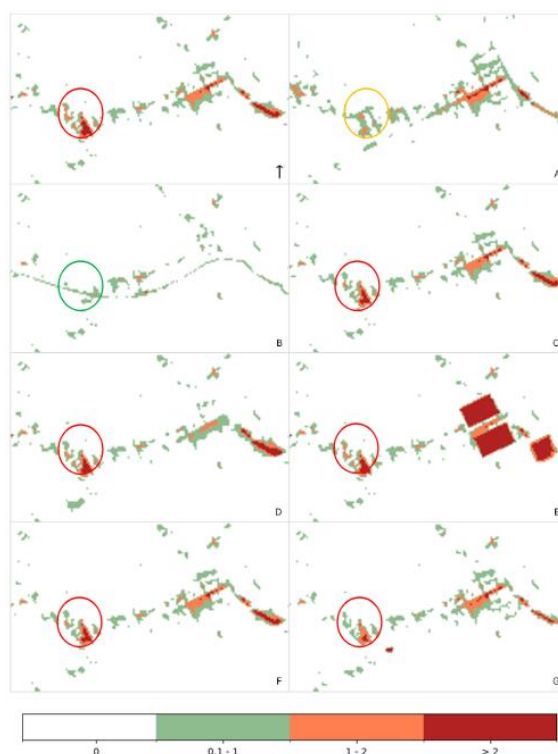


Figura 3 - Mapas de Profundidade dos Cenários para evento de precipitação na avenida principal.

Fonte: Adaptado de SIMEPAR, 2024.

Já o cenário G (Drenagem sustentável) promoveu uma melhora de 12%, demonstrando seu valor, mas também sua insuficiência quando aplicado de forma isolada ou em escala reduzida.

Segundo MARTINS et al. (2024), a eficácia das infraestruturas verde-azul está diretamente relacionada à sua organização em rede e à consideração das variáveis locais; em eventos de solo saturado, mesmo dispositivos bem dimensionados atingem seu limite de saturação.

O cenário A mostra o impacto negativo da falta de bueiros, pois acelera o escoamento superficial para os córregos, gerando picos de vazão intensos e transbordamentos a jusante. Isso mostra que a infraestrutura cinza e a verde não são excludentes, mas sim complementares. A microdrenagem tradicional é essencial para captar o excedente que a infraestrutura verde não consegue absorver em eventos extremos, evitando a dispersão caótica da água, como observado na Av. São João (área circulada).

Os cenários E e F resultaram em um sutil agravamento das inundações. A retirada de edificações pode ter eliminado barreiras físicas que antes desviavam a água para áreas menos críticas. A intervenção fez com que a sobrecarga fosse transferida, alguns possíveis ajustes seriam integrar com outras medidas de retenção local da água, aumentar a infiltração e focar em terrenos situados no fluxo natural. O cenário E mostrou limitações, pois os lagos artificiais podem estar distantes das rotas de fluxo principais. A região da Av. São João (área circulada), identificada como a área mais crítica, mostrou que a microdrenagem tradicional é essencial, pois direciona o fluxo e evita a dispersão caótica da água.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A contribuição central deste artigo é demonstrar, quantitativamente, que o município de Prudentópolis protege menos do que a Lei (BRASIL, 2012) exige, expondo a bacia do Rio Caxim a um risco hidrológico superior ao necessário. A análise dos cenários A-G validou que o sistema de drenagem atual falha — ou transfere o problema — pela desconsideração do papel das APP como infraestrutura verde de amortecimento de cheias. Ficou evidente que a infraestrutura verde é um componente estratégico da drenagem urbana, cuja eficácia depende da integração sistêmica com a microdrenagem convencional.

O diagnóstico evidenciou um conflito entre a legislação ambiental e a ocupação consolidada do solo. A insuficiência de áreas verdes, a ocupação irregular de APP e a geografia local formam um tripé que potencializa a vulnerabilidade da bacia a eventos de alagamento. Recomenda-se a adoção de um Plano Municipal de Drenagem Urbana que priorize a realocação de famílias em áreas de risco e a criação de parques lineares nas APP remanescentes.

A recuperação de APP e matas ciliares provou ser mais eficaz do que intervenções estruturais pontuais, pois intervenções isoladas tendem a transferir o problema. O gerenciamento deve ocorrer o mais próximo possível da origem da precipitação e de forma integrada em toda a bacia. A adoção da

Regra 3-30-300 como diretriz no Plano Diretor oferece um horizonte mensurável para a gestão urbana, permitindo que o município alcance a meta de 30% de cobertura vegetal e maior resiliência a eventos climáticos extremos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao SIMEPAR, onde a primeira autora atuou como bolsista em 2024, pelos dados essenciais disponibilizados, destacando com gratidão a contribuição da Danieli Mara Ferreira pela modelagem hidrológica, usada neste estudo. À CAPES e ao PPGERHA também somos gratos pelo apoio que a primeira autora recebe para a realização de seu mestrado

REFERÊNCIAS

- BRASIL (2012). Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. *Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa*. Diário Oficial da União, Brasília.
- GOOGLE EARTH (2024). *Imagens de satélite da região da bacia do Rio Caxim, Prudentópolis-PR*.
- KONIJNENDIJK, C. C. (2023). “Evidence-based guidelines for greener, healthier, more resilient neighbourhoods: Introducing the 3-30-300 rule”. *Journal of Forestry Research*, v. 34, n. 3, p. 821-830.
- MARENGO, J. A. et al. (2024). “O maior desastre climático do Brasil: chuvas e inundações no estado do Rio Grande do Sul em abril-maio 2024”. *Estudos Avançados*, v. 38, n. 112, p. 203-228.
- MARTINS, I. L.; MATOS, E. B.; ROCHA, B. M. (2024). “Soluções Baseadas na Natureza e Resiliência Urbana: parâmetros de projeto para redes verde-azul de drenagem pluvial”. *Cidades Verdes*, v. 12, n. 34.
- MIDÃO, Julia de Oliveira et al. “Infraestrutura verde e azul na mitigação de cheias urbanas: um estudo de caso em Marechal Hermes”. *Paisagens Híbridas*, [S.I.], v. 3, n. 1, p. 14-45, 2023.
- MOREIRA, C. V. M.; COSTA, M. R. A.; BECKER, V. (2023). “Impacts of extreme precipitation events in water quality: a scientometric analysis in global scale”. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 35, e17.
- PARANACIDADE. *Portal institucional*. Curitiba: Paranacidade, [2024]. Disponível em: <https://www.paranacidade.org.br/>. Acesso em: 08 maio 2026.
- PMP – Prefeitura Municipal de Prudentópolis (2024). *Mapas e arquivos digitais sobre zoneamento e terrenos públicos*. Dados fornecidos ao autor.
- SIMEPAR – Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná. (2024). “Conjunto de dados hidrológicos sobre Prudentópolis”. Dados fornecidos à autora durante seu período como apoio técnico na instituição. Curitiba.