ALAGAMENTOS E INUNDAÇÕES EM MICROBACIAS URBANAS: INFLUÊNCIA DA VULNERABILIDADE SOCIAL, COBERTURA ARBÓREA E CANALIZAÇÃO DOS CURSOS HÍDRICOS

Rafael Brandão Ferreira de Moraes [1], Larissa Valentim da Silva [2], Pablo Luíz Maia Nepomuceno [3]

Fábio Veríssimo Gonçalves [4] & Maurício Lamano Ferreira [5]

Palavras-Chave – Desastre hidrológico, Infraestrutura verde, Vulnerabilidade socioambiental.

INTRODUÇÃO

A intensificação do processo de urbanização tem provocado profundas alterações nos ciclos hidrológicos naturais, especialmente em decorrência da impermeabilização do solo, da supressão da vegetação e da crescente artificialização dos sistemas de drenagem urbana. Essas transformações modificam os processos de infiltração, armazenamento e escoamento das águas pluviais, contribuindo para o aumento da frequência e da magnitude de desastres hidrológicos, como alagamentos e inundações em áreas urbanas (Moraes e Gonçalves, 2024).

Embora fatores físicos sejam fundamentais para a compreensão desses fenômenos, estudos recentes demonstram que os impactos dos desastres hidrológicos são fortemente condicionados por desigualdades socioespaciais. A vulnerabilidade urbana não depende exclusivamente da exposição aos perigos naturais, mas também da capacidade dos territórios de prevenir, absorver e responder aos eventos extremos. Nesse contexto, a distribuição desigual da infraestrutura urbana, das áreas verdes e dos investimentos públicos contribui para a formação de padrões distintos de risco entre diferentes setores da cidade, evidenciando processos de injustiça ambiental (Suhendy et al., 2025).

A vegetação arbórea desempenha funções ecossistêmicas relevantes, incluindo a interceptação da precipitação, o aumento da infiltração da água no solo, a redução do escoamento superficial e a regulação microclimática. Intervenções estruturais frequentemente adotadas em áreas urbanas, como a canalização de cursos hídricos, alteram a conectividade hidrológica das bacias, modificando os padrões naturais de armazenamento e transporte das águas pluviais (Moraes e Gonçalves, 2024).

Apesar da relevância desses fatores para a gestão de riscos, ainda são escassos os estudos que investigam de forma integrada a influência da vulnerabilidade social, da cobertura arbórea e das modificações antrópicas da drenagem sobre a distribuição espacial de alagamentos e inundações em microbacias urbanas. Portanto, o presente estudo teve como objetivo analisar a relação entre vulnerabilidade social, cobertura arbórea, grau de canalização dos cursos hídricos e ocorrência de alagamentos e inundações em Microbacias Hidrográficas Urbanas de Campo Grande - MS, buscando identificar padrões territoriais capazes de subsidiar estratégias de gestão de riscos, planejamento urbano resiliente e promoção da justiça socioambiental.

1) Universidade de São Paulo (USP). E-mail: moraes.rafael@usp.br
2) Universidade de São Paulo (USP): E-mail: valentimlarissa@usp.br
3) Universidade de São Paulo (USP): E-mail: pablo.nepomuceno@usp.br
4) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). E-mail: fabio.goncalves@ufms.br
5) Universidade de São Paulo (USP). E-mail: lamano@usp.br

METODOLOGIA

A área de estudo compreende a zona urbana do município de Campo Grande - MS. Foram delimitadas 11 Microbacias Hidrográficas Urbanas (MHUs) a partir de Modelo Digital de Elevação disponibilizado pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), utilizando o *software Quantum Geographic Information System* (QGIS). Os registros históricos de alagamentos e inundações ocorridos entre janeiro de 2018 e dezembro de 2023 foram obtidos por meio de pesquisa documental em notícias do acervo digital do portal *Campo Grande News*. Os locais de ocorrência foram georreferenciados a partir dos endereços reportados nas notícias, convertidos em coordenadas geográficas utilizando a plataforma *Google Maps* e posteriormente espacializados em ambiente SIG.

A cobertura arbórea das microbacias foi mapeada por meio de imagens do satélite *CBERS-4A* disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2026). Inicialmente, as bandas multiespectrais do visível e infravermelho próximo (bandas 1, 2, 3 e 4), com resolução espacial de 8 m, foram fusionadas à banda pancromática de 2 m por meio da técnica de *pansharpening*, resultando em imagens multiespectrais com resolução espacial final de 2 m. As imagens fusionadas foram processadas na plataforma *Google Earth Engine* (GEE), onde foi realizada a classificação supervisionada utilizando o algoritmo *Random Forest*. Para o treinamento do classificador foram coletadas amostras representativas das classes “cobertura arbórea” e “não cobertura arbórea”, utilizando-se 80 amostras por classe. A qualidade da classificação foi avaliada por meio da matriz de confusão, considerando os indicadores de Acurácia Global, Índice Kappa, Precisão do Usuário e Precisão do Produtor, complementados por inspeção visual dos resultados. Posteriormente, foi calculado o percentual de cobertura arbórea em cada MHU.

A vulnerabilidade social foi representada por meio do Índice Geral de Vulnerabilidade Social (IGVS), elaborado a partir de dados do Censo Demográfico de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O índice integra indicadores socioeconômicos, demográficos e de infraestrutura urbana, previamente normalizados pelo método Min-Max e agregados em uma escala variando de 0 a 1, na qual valores mais elevados representam maiores níveis de vulnerabilidade social. Os valores de IGVS foram espacializados em escala de setor censitário e posteriormente agregados para cada MHU por meio do cálculo do valor médio.

Por fim, os registros de alagamentos e inundações foram analisados separadamente. Para minimizar a influência das diferenças de tamanho entre as microbacias, foi calculada a densidade de eventos a partir da razão entre o número de ocorrências registradas e a extensão total da malha viária existente em cada microbacia (eventos/km de via). Adicionalmente, foi calculado o percentual de canalização dos cursos hídricos em cada microbacia a partir da relação entre a extensão de canais artificializados e a extensão total da rede hidrográfica (Moraes e Gonçalves, 2024). Os resultados foram espacializados e analisados de forma integrada, buscando identificar relações entre vulnerabilidade social, cobertura arbórea, canalização da drenagem e ocorrência de alagamentos e inundações.

RESULTADOS

A Figura 1 apresenta a distribuição espacial do índice Geral de Vulnerabilidade Social (A), da cobertura arbórea (B), da canalização dos cursos hídricos (C), da densidade de alagamentos (D) e da densidade de inundações (E) nas MHUs de Campo Grande – MS. De modo geral, os resultados evidenciam padrões espaciais distintos entre alagamentos e inundações nas MHUs de Campo Grande, indicando que esses fenômenos estão associados a diferentes fatores socioambientais e estruturais.

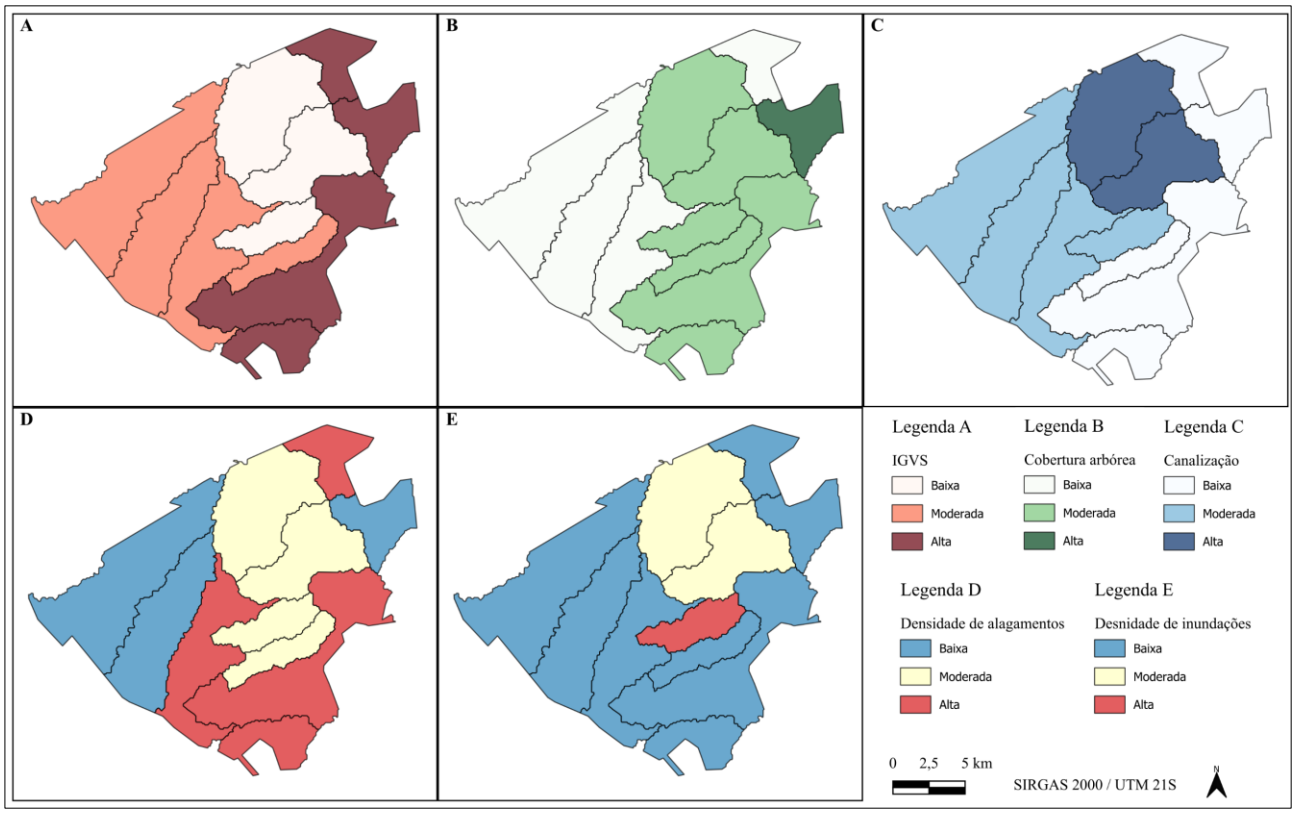


Figura 1. Distribuição espacial do índice Geral de Vulnerabilidade Social (A), da cobertura arbórea (B), da canalização dos cursos hídricos (C), da densidade de alagamentos (alagamentos/km de via) (D) e da densidade de inundações (inundações/km de vida) (E) nas microbacias hidrográficas urbanas de Campo Grande – MS.

A análise do IGVS (Figura 1A) demonstra a existência de microbacias com diferentes níveis de vulnerabilidade socioespacial, variando entre baixa, moderada e alta vulnerabilidade. É possível observar que os alagamentos apresentaram maior concentração nas microbacias classificadas com alta vulnerabilidade social, localizadas predominantemente em áreas periféricas do município (Figura 1D). Esse resultado sugere que a ocorrência desse tipo de desastre está associada não apenas às características físicas da drenagem urbana, mas também à distribuição desigual da infraestrutura urbana e dos investimentos públicos. Em áreas socialmente mais vulneráveis, a menor disponibilidade de sistemas eficientes de drenagem, associada à elevada impermeabilização do solo e à ocupação urbana menos planejada, tende a aumentar a suscetibilidade ao acúmulo temporário de águas pluviais durante eventos de chuva intensa.

Por outro lado, as inundações apresentaram comportamento espacial distinto. As maiores densidades foram observadas em microbacias classificadas com baixa vulnerabilidade social, situadas principalmente em áreas centrais e mais consolidadas da cidade (Figura 1E). Embora esse resultado possa parecer contraditório à primeira vista, a análise integrada dos mapas revelou que essas microbacias também apresentam os maiores percentuais de canalização dos cursos hídricos (Figura 1C). Tal padrão sugere que a dinâmica das inundações está mais relacionada às alterações promovidas na rede hidrográfica urbana do que às condições socioeconômicas da população residente, visto que esses desastres ocorrem em áreas adjacentes a cursos hídricos.

As microbacias com maior percentual de canais artificializados coincidem, em grande parte, com as que apresentam maior densidade de inundações (moderada e alta). Embora a canalização seja frequentemente utilizada como medida de controle hidráulico e valorização urbana, a literatura demonstra que tais intervenções podem acelerar o escoamento superficial e transferir os impactos para trechos localizados a jusante (Moraes e Gonçalves, 2024). Portanto, a elevada ocorrência de

inundações em áreas com baixa vulnerabilidade social pode estar associada aos efeitos acumulados da intensa modificação dos cursos hídricos ao longo do processo de urbanização.

A cobertura arbórea exerce papel relevante na interceptação da precipitação, no aumento da infiltração da água no solo e na redução da velocidade do escoamento, contribuindo para a regulação hidrológica urbana (Grupta e Dixit, 2023). Embora a cobertura arbórea não elimine a ocorrência de eventos extremos, sua presença pode atuar como importante mecanismo de mitigação dos impactos associados às chuvas intensas, conforme a única MHU classificada como alta taxa de cobertura arbórea à nordeste do mapa (Figura 1B) e baixa densidade para ambos os desastres hidrológicos analisados (Figura 1D e E).

De forma geral, os resultados demonstram que os alagamentos e as inundações apresentam determinantes distintos. Isso reforça a necessidade de estratégias integradas de planejamento urbano que combinem a ampliação da infraestrutura verde, a conservação dos sistemas naturais de drenagem e a redução das desigualdades socioespaciais, contribuindo para o aumento da resiliência urbana frente aos desastres hidrológicos em áreas urbanas (Grupta e Dixit, 2023; Moraes e Gonçalves, 2024).

CONCLUSÕES

- Os alagamentos apresentam maior associação com áreas socialmente vulneráveis e com menor cobertura arbórea, enquanto as inundações estão mais relacionadas à elevada canalização dos cursos hídricos em áreas urbanas consolidadas.

- Os resultados podem subsidiar ações de planejamento urbano, ampliação da infraestrutura verde, conservação dos sistemas naturais de drenagem e priorização de áreas para intervenções voltadas à redução do risco hidrológico.

- Como limitação do estudo, destaca-se a utilização de registros históricos obtidos em fontes jornalísticas, os quais podem não contemplar a totalidade dos eventos ocorridos no período analisado.

REFERÊNCIAS

GUPTA, L.; DIXIT, J. (2023). *"Assessment of urban flood susceptibility and role of urban green space (UGS) on flooding susceptibility using GIS-based probabilistic models"*. Environ. Monit. Assess., 195(12):1518.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). (2026). "*Catálogo de imagens"*. https://www.dgi.inpe.br/catalogo/explore. Acessado em 10 de março de 2026.

MORAES, R. B. F. de; GONÇALVES, F. V. (2024). *"Development, Application, and Validation of the Urban Flood Susceptibility Index"*. Water Resources Management, 38(7):2511-2525.

SUHENDY, C. C. V.; KOESER, A. K.; KLEIN, R. W.; WARNER, L.; VAN DEN BOSCH, M.; HANSEN, G. (2025). *"The influence of urban forest on stress levels among adults aged 45 and older: an environmental and socioeconomic analysis in Florida, US"*. Trees, Forests and People, 23:101118.

AGRADECIMENTOS - À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de estudos durante o pós-doutorado na Universidade de São Paulo (USP) e pelo apoio à participação em eventos científicos e publicação de artigos. Processo n° 2025/21352-0.