

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE SOCIAL ÀS INUNDAÇÕES: BACIA DO RIO IMBOAÇU, MUNICÍPIO DE SÃO GONÇALO/RJ

Maria Gabriela Acioli Ferreira¹ ; Bruna Peres Battemarco²

Abstract: With the accelerated advancement of urbanization and the transformation of urban spaces, cities face numerous socio-environmental challenges. Disorderly growth, inadequate land use, and the occupation of floodable areas intensify the risks of hydrological disasters, such as floods. One of the strategies for implementing flood risk management is the development of vulnerability maps, which aim to represent the degree of susceptibility of elements within the exposed system to damage and losses in the event of a specific hazard. In this context, the objective of this study is to evaluate social vulnerability to flooding in the Imboaçú River basin, São Gonçalo/RJ, through mapping based on a multi-criteria approach. The adopted methodology involves the application of the Social Sub-index of the Urban Flood Vulnerability Index, which comprises the indicators of Age Distribution, Household Income, and Population Density—all derived from the most recent IBGE Demographic Census. The analysis revealed that a significant portion of the census tracts within the basin fall into the medium to high social vulnerability categories, with particular emphasis on the notable predominance of the highest vulnerability class in the final Urban Flood Vulnerability Index (covering 51.8% of the total area). The results underscore the urgency of adopting integrated risk management and urban planning strategies, with a focus on reducing social vulnerability and promoting the resilience of the population living in the Imboaçú River basin.

Resumo: Com o avanço acelerado da urbanização e a alteração dos espaços urbanos, as cidades enfrentam diversos desafios socioambientais. O crescimento desordenado, o uso inadequado do solo e a ocupação de áreas alagáveis intensificam os riscos de desastres hidrológicos, como as inundações. Uma das estratégias para implementar a gestão do risco de inundações consiste na elaboração de mapas de vulnerabilidade, que visam representar o grau de propensão dos elementos presentes no sistema exposto a sofrerem danos e perdas em caso de ocorrência de um determinado perigo. Nesse contexto, o objetivo deste estudo é avaliar a vulnerabilidade social a inundações da bacia do Rio Imboaçú, São Gonçalo/RJ, por meio de mapeamento baseado em utilização de abordagem multicritério. A metodologia adotada envolve a aplicação do Subíndice Social do Índice de Vulnerabilidade Urbana a Inundações, que compreende os indicadores Distribuição Etária, Renda Domiciliar e Densidade Populacional — todos derivados do mais recente Censo Demográfico do IBGE. A análise revelou que grande parte dos setores censitários da bacia se enquadra nas classes de média a alta vulnerabilidade social, com destaque para a expressiva predominância da classe alta no Índice de Vulnerabilidade Urbana a Cheias final (51,8% da área total). Os resultados obtidos reforçam a urgência da adoção de estratégias integradas de gestão de risco e planejamento urbano, com foco na redução da vulnerabilidade social e na promoção da resiliência da população residente na bacia do Rio Imboaçú.

Palavras-Chave – Vulnerabilidade Social, Risco de Inundações, Abordagem multicritério.

1) Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rua São Francisco Xavier, 524 - Maracanã, Rio de Janeiro – RJ, ferreira.maria_3@graduacao.uerj.br;

2) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, R. São Francisco Xavier, 524 - Maracanã, Rio de Janeiro - RJ, 20550-013 e Programa de Engenharia Urbana, Universidade Federal do Rio de Janeiro, brunabattemarco@eng.uerj.br

INTRODUÇÃO

Com o avanço acelerado da urbanização e a alteração dos espaços urbanos, as cidades enfrentam diversos desafios socioambientais. O crescimento desordenado, o uso inadequado do solo e a ocupação de áreas alagáveis intensificam os riscos de desastres hidrológicos, como as inundações, que, atualmente, já são consideradas como desastres socionaturais (UNISDR, 2009).

Segundo dados do Centro de Pesquisa em Epidemiologia de Desastres (CRED, 2024), as inundações estão entre os desastres naturais mais recorrentes e devastadores em escala global. Em 2023, diversos países foram atingidos por eventos desse tipo, resultando em perdas humanas expressivas e danos socioeconômicos significativos. Apenas nesse ano, foram contabilizadas 7.763 mortes associadas a inundações, número que supera em 40,7% a média anual de 5.518 óbitos, registrada entre os anos de 2003 e 2022 (CRED, 2024).

No Brasil, de acordo com informações do SINISA, tendo como referência o ano de 2023, 2.235.676 domicílios estão sujeitos ao risco de inundação em áreas urbanas, sendo 48,6% destes localizados na Região Sudeste (SINISA, 2024). Cabe lembrar que o conceito de risco de inundação envolve duas parcelas: o perigo de inundação, associado à probabilidade de ocorrência do evento, e as suas consequências, que podem ser descritas por meio da interação entre a exposição e a vulnerabilidade. O termo vulnerabilidade refere-se à propensão de uma população ou sistema a sofrer danos quando expostos a um perigo, sendo influenciada por fatores sociais, econômicos, ambientais e físicos (Sayers *et al.*, 2013). De acordo com D'Ercole (1994) e Blaikie *et al.* (1994), a vulnerabilidade apresenta um caráter cumulativo e temporal, afetando principalmente populações com menor capacidade de recuperação após a ocorrência dos desastres, o que as torna mais suscetíveis a futuros eventos.

Uma das estratégias para implementar a gestão do risco de inundações consiste na elaboração de mapas de vulnerabilidade, os quais, conforme destacado por Miguez *et al.* (2018), contribuem para reduzir a suscetibilidade aos danos e o valor dos bens expostos, além de fortalecer a resiliência dos componentes ainda não atingidos pelo evento adverso. Esses mapas têm como objetivo representar o grau de propensão dos elementos presentes no sistema exposto a sofrerem danos e perdas em caso de ocorrência de um determinado evento. Sua aplicação é possível na fase de mitigação, buscando reforçar a resistência dos elementos e a resiliência do sistema; nas fases de preparação e resposta, orientando ações voltadas para as populações mais vulneráveis ou para a infraestrutura crítica; e na fase de recuperação, visando minimizar a exposição dos afetados e adotar estratégias para reduzir a vulnerabilidade e ampliar a resiliência (Miguez *et al.*, 2018).

No cenário da bacia do Rio Imboáu, localizada no Município de São Gonçalo, Estado do Rio de Janeiro, o processo de descaracterização da bacia e a ocupação desordenada dessa área contribuíram para a ocorrência de inundações e, conseqüentemente, para perdas e danos vivenciados pela população, evidenciando a necessidade de adoção de estratégias que possam atuar na redução da vulnerabilidade social frente às inundações. Assim, nesse contexto, o objetivo deste estudo é avaliar a vulnerabilidade social a inundações da bacia do Rio Imboáu, por meio de mapeamento baseado em utilização de abordagem multicritério.

METODOLOGIA

A metodologia adotada baseia-se na integração de dados com a ferramenta QGIS para a avaliação da vulnerabilidade social a inundações na bacia do Rio Imboaçú, a ser realizada por meio da aplicação do Subíndice Social proposto por Silva (2017) em seu Índice de Vulnerabilidade Urbana a Cheias (IVUC). O subíndice é composto pelos indicadores de Distribuição Etária, Renda Domiciliar e Densidade Populacional, utilizando dados do Censo Demográfico do IBGE (2022).

Para a normalização das variáveis, foi executada a distribuição das correspondentes pontuações de vulnerabilidade em cinco faixas de variação (entre 1 e 5, de um valor mais baixo em direção ao mais alto de vulnerabilidade) para cada indicador trabalhado na construção do índice (Silva, 2017). Ressalta-se que a metodologia de normalização adotada originalmente no IVUC para o indicador de Densidade Populacional não corresponde à realidade local da bacia hidrográfica de interesse. Por essa razão, optou-se por adaptar a sua normalização, utilizando-se a classificação proposta por Lourenço (2022) para densidades consideradas baixas, desejáveis (faixa média) e altas, baseada em uma análise abrangente de diferentes referências técnicas sobre densidade populacional. A Tabela 1 apresenta os intervalos definidos e suas respectivas pontuações para os indicadores de renda domiciliar, distribuição etária e densidade populacional.

Tabela 1 – Normalização adotada para os indicadores (Adaptado de Silva, 2017).

Indicador	Faixa	Critério
Renda domiciliar*	1	Domicílios com rendimento médio per capita > 10 SM
	2	Domicílios com rendimento médio per capita entre 5 a 10 SM
	3	Domicílios com rendimento médio per capita entre 3 a 5 SM
	4	Domicílios com rendimento médio per capita entre 1 a 3 SM
	5	Domicílios com rendimento médio per capita < 1 SM
Distribuição etária	1	Menos de 5% da população entre 0 e 10 anos ou acima de 65 anos
	2	Entre 5% a 10% da população está entre 0 e 10 anos ou acima de 65 anos
	3	Entre 10% a 15% da população está entre 0 e 10 anos ou acima de 65 anos
	4	Entre 15% a 20% da população está entre 0 e 10 anos ou acima de 65 anos
	5	Mais de 20% da população está entre 0 e 10 anos ou acima de 65 anos
Densidade populacional	1	Densidade Populacional < 2200 hab/km ²
	3	Densidade Populacional entre 2200 e 4500 hab/km ²
	5	Densidade Populacional > 4500 hab/km ²

*SM = Salário-Mínimo, considerado igual a R\$ 1.212,00 tendo como base de referência o ano de 2022 (GOV, 2022).

O cálculo do índice, denominado neste trabalho de IVUC Social, foi realizado por meio de um somatório ponderado, em que cada indicador é multiplicado pelo seu respectivo peso, conforme apresentado na Equação 1.

$$IVUC\ SOCIAL = (De * P_{De}) + (Rd * P_{Rd}) + (Dp * P_{Dp}) \quad (1)$$

Onde:

De : Indicador de Distribuição etária;

P_{De} : Peso associado ao indicador de Distribuição etária;

Rd : Indicador de Renda domiciliar;

P_{Rd} : Peso associado ao indicador de Renda domiciliar;

Dp : Indicador de Densidade populacional;

P_{Dp} : Peso associado ao indicador de Densidade populacional.

Destaca-se que foram adotados pesos iguais para cada um dos indicadores componentes (1/3), entendendo-se, inicialmente, que cada variável adotada contribui igualmente para a vulnerabilidade social da bacia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

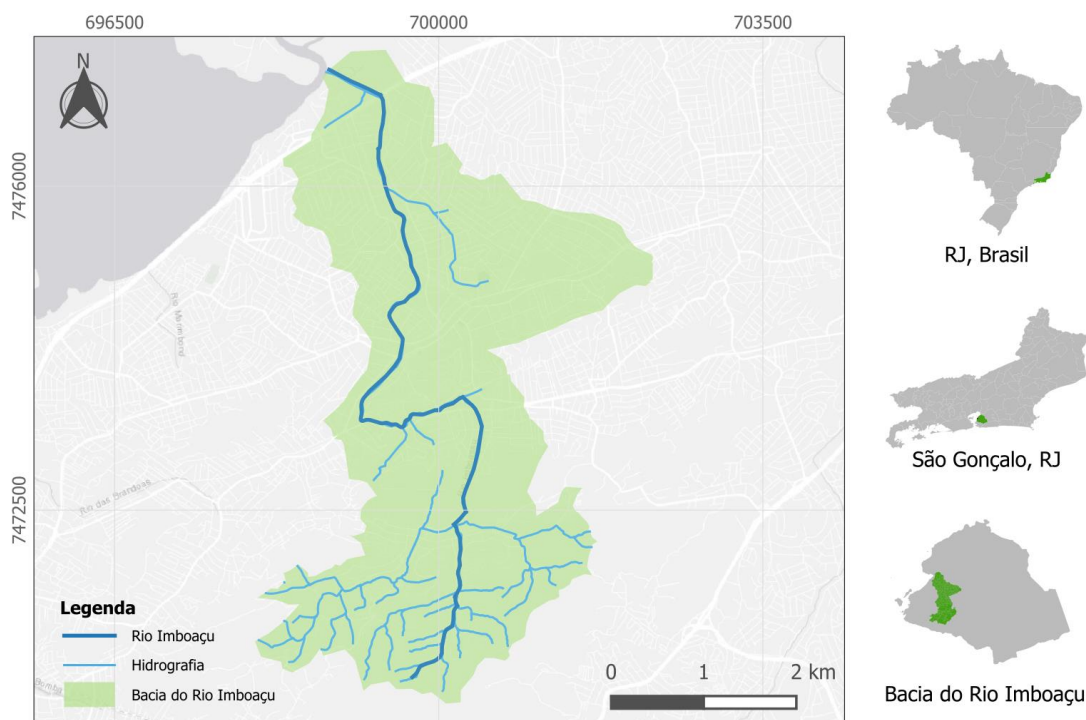
Estudo de Caso

A bacia do Rio Imboáçu apresenta uma área de drenagem de 14,9 km² (Figura 1) e está inteiramente inserida em São Gonçalo, município da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. O rio possui sua nascente localizada na Área de Preservação Ambiental (APA) do Engenho Pequeno e sua foz próxima ao bairro Boa Vista, na Baía de Guanabara. O Rio Imboáçu atravessa áreas com alta densidade ocupacional, onde, em determinados trechos, as edificações ocupam a calha, comprometendo o escoamento e intensificando a ocorrência de inundações durante eventos de precipitação intensa (Oliveira *et al.*, 2015). Conforme dados do Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2025), o município de São Gonçalo registrou uma população total de 896.744 habitantes, apresentando uma densidade demográfica de 3.613,57 hab/km².

Segundo Armond (2012), o Rio Imboáçu teve papel central no processo de desenvolvimento de São Gonçalo, uma vez que suas margens abrigaram os primeiros núcleos de ocupação da cidade. Até o século XIX, o rio era navegável e suas águas eram utilizadas pela população para abastecimento, pesca, recreação e transporte da produção agrícola. Contudo, a urbanização acelerada entre as décadas de 1960 e 1980 provocou significativas transformações na morfologia fluvial da bacia, impulsionadas pela expansão da malha urbana e pelas exigências de infraestrutura. Obras como canalizações, retificações, instalação de manilhas e construção de travessias alteraram substancialmente a morfologia original do curso d'água, resultando na descaracterização da bacia hidrográfica do Rio Imboáçu (Armond *et al.*, 2012).

Cabe ressaltar que a bacia do Rio Imboáçu sofre com eventos de inundação e alagamentos. Em fevereiro de 2023, por exemplo, São Gonçalo registrou volumes pluviométricos superiores a 199 mm em 24 horas, valor esperado para todo o mês de fevereiro. Em decorrência desses eventos, as autoridades municipais decretaram estado de emergência (Prefeitura Municipal de São Gonçalo, 2023). No final de 2024, novos episódios intensos de precipitação provocaram alagamentos no município (Prefeitura Municipal de São Gonçalo, 2024). Além disso, destaca-se que, segundo o Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2025), na bacia do Rio Imboáçu, há seis favelas (inteiramente ou parcialmente inseridas) dentre as 63 existentes no município de São Gonçalo, onde residem aproximadamente 8.253 habitantes.

Figura 1 - Rede de macrodrenagem na área de interesse.



Fonte: Elaboração própria (2025) com dados ANA (2025) e Inea (2025).

Índice de Vulnerabilidade Urbana a Cheias – Social

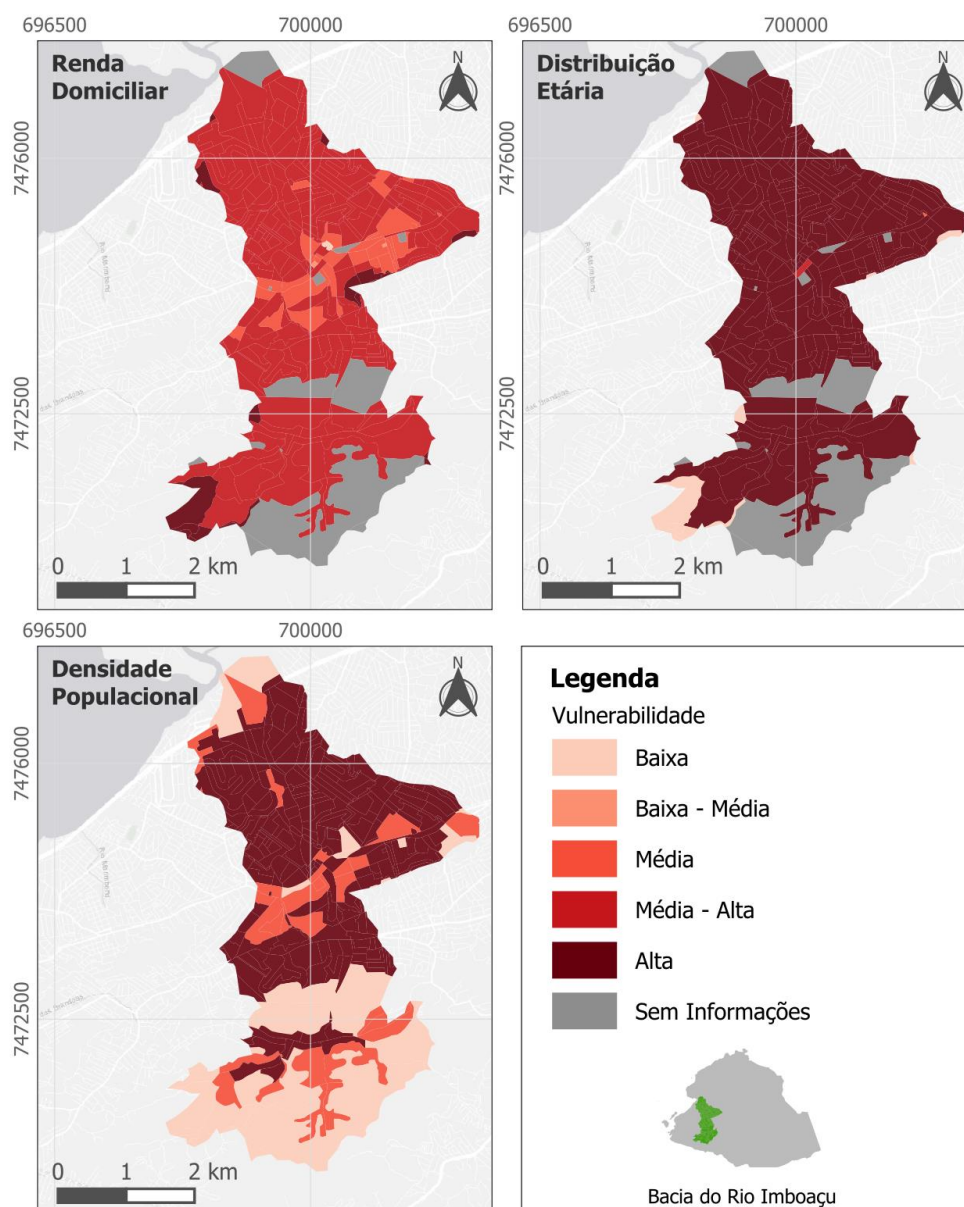
A Figura 2 apresenta a espacialização dos resultados obtidos para os indicadores que compõem o IVUC Social, com sua aplicação à bacia do Rio Imboáçu: Renda Domiciliar, Distribuição Etária e Densidade Populacional. A análise conjunta desses indicadores permite identificar os setores censitários com diferentes níveis de vulnerabilidade social, variando de baixa a alta, conforme mostrado na legenda. Os setores em cinza representam as áreas com ausência de dados nas bases utilizadas.

O mapa referente ao indicador de Renda Domiciliar revela uma predominância de setores censitários classificados como de média a alta vulnerabilidade social, com destaque para o fato de que 77% deles possuem rendimento per capita entre 1 a 3 salários-mínimos. Na bacia, a renda média nominal per capita dos domicílios era de R\$ 2.351,26 (entre 1 e 3 salários-mínimos) em 2022, o que classifica a bacia, de forma geral, como vulnerabilidade média-alta para este indicador.

Em relação ao mapeamento da Distribuição Etária, nota-se que grande parte da bacia apresenta alta vulnerabilidade social, com aproximadamente 90% dos setores censitários sendo compostos por mais de 25% da sua população por idosos e crianças. Isso evidencia uma distribuição etária homogênea na bacia, o que era esperado, tendo em vista que a bacia está inteiramente inserida em um único município e possui pequenas dimensões, tendo uma tendência de características semelhantes em termos do indicador. Em média, a bacia possui cerca de 33% da sua população composta por idosos e crianças.

Quanto ao indicador de Densidade Populacional, é possível observar a existência das três faixas de vulnerabilidade consideradas na normalização: Baixa, Média e Alta. Há uma concentração maior de áreas de alta vulnerabilidade nas partes média e baixa da bacia e de áreas de baixa densidade na sua porção alta. A densidade populacional média da bacia é de aproximadamente 10.544 hab/km², o que aponta para uma situação de alta vulnerabilidade social (77% dos setores censitários que compõem a bacia possuem densidades superiores a 4500 hab/km²). Esse cenário indica uma elevada concentração populacional exposta a um mesmo evento hidrológico, potencializando os riscos e os efeitos adversos associados a inundações.

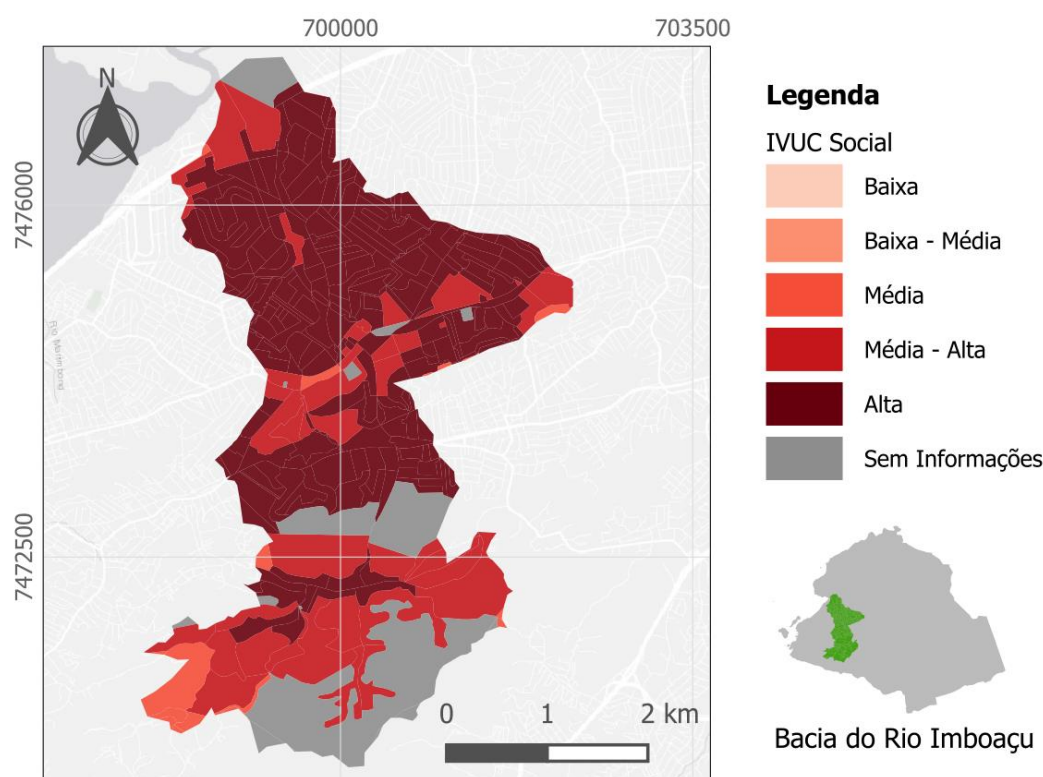
Figura 2 – Aplicação dos indicadores à bacia do Rio Imboapu.



Fonte – Elaboração própria (2025) com dados do IBGE (2022).

A Figura 3 ilustra o resultado da aplicação do Índice de Vulnerabilidade Urbana a Cheias – Social à bacia do Rio Imboáçu, elaborado a partir da soma ponderada dos indicadores de Renda Domiciliar, Distribuição Etária e Densidade Populacional, previamente analisados. Os resultados indicam que a maior parte dos setores censitários da bacia se enquadra na classificação de Alta Vulnerabilidade, correspondendo a 51,8% da área total, evidenciando um cenário crítico de propensão a danos associados à ocorrência de eventos de cheias urbanas. Além disso, destaca-se que 28,3% da área apresenta Vulnerabilidade Média – Alta, sendo observada também a presença de áreas pontuais com Vulnerabilidade Média (3,3%). Não são encontradas áreas com vulnerabilidade social a inundações nas classes Média-Baixa e Baixa. Cabe destacar que 16,6% da área da bacia está destacada em cinza, indicando a ausência de informações, o que limita a análise nessas regiões específicas.

Figura 3 - Índice de Vulnerabilidade Urbana a Cheias – Social aplicado à bacia do Rio Imboáçu.



Fonte – Elaboração própria (2025) com dados do IBGE (2022).

CONCLUSÃO

A análise da bacia do Rio Imboáçu demonstrou um cenário de elevada vulnerabilidade social frente aos riscos associados a eventos de inundação. A configuração da rede de macrodrenagem, fortemente integrada a uma ocupação urbana densa e, em grande parte, socioeconomicamente vulnerável, contribui para a ampliação dos impactos potencialmente gerados pela ocorrência desses eventos. A aplicação dos indicadores analisados permitiu identificar que grande parte dos setores censitários da bacia se enquadra nas classes de média a alta vulnerabilidade social, com destaque para a expressiva predominância da classe alta no Índice de Vulnerabilidade Urbana a Cheias, que representa 51,8% da área total da bacia.

A presença de setores com ausência de dados aponta a necessidade de melhorias na coleta de informações socioeconômicas, o que inclui a aceitação por parte da população local em participar de pesquisas tão fundamentais para embasar a elaboração de políticas públicas, como o Censo Demográfico do IBGE, essencial para o aprimoramento de futuros diagnósticos na área de estudo. Também cabe destacar a homogeneidade espacial dos resultados obtidos para o indicador de Distribuição Etária, o que leva à reflexão a respeito da representatividade desse indicador. Em passos futuros, pretende-se avaliar a substituição do mesmo, por exemplo, por um indicador de avaliação do nível educacional da população, associando essa informação à sua capacidade de resposta. Este é um dado em que se espera uma distribuição menos homogênea no território, representando mais adequadamente as diferenças locais.

Os resultados obtidos reforçam a urgência da adoção de estratégias integradas de gestão de risco e planejamento urbano, com foco na redução da vulnerabilidade social e na promoção da resiliência da população residente na bacia do Rio Imboapu.

REFERÊNCIAS

- ARMOND, B.; MORELLI, N. B.; SARAIVA, R. C.; BRANDÃO, F.; AFONSO, A. (2012). *“Análises da dinâmica fluvial do Rio Imboapu – São Gonçalo – RJ – Brasil: reflexões sobre educação ambiental”*.
- BLAIKIE, P. M.; CANNON, T.; DAVIS, I. e WISNER, B. *“At risk: natural hazards, people’s vulnerability, and disasters”*. London, Routledge. 1994.
- CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS (2024). *“2023 Disasters in Numbers”*. Brussels, Belgium.
- D’ERCOLE, R. *“Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés: concepts, typologie, modes d’analyse. Revue de Géographie Alpine”*. Paris, v. 82, n. 4, pp. 87-96. 1994.
- BRASIL, GOVERNO FEDERAL (2022). *“Novo salário mínimo: veja como registrar o reajuste no eSocial Doméstico”*.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *“Cidades e Estados”*. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/sao-goncalo.html>>. Acesso em: 10 jun. 2025.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2025). *“Censo Demográfico 2022: Panorama – Indicadores Sociodemográficos”*. Rio de Janeiro.
- LOURENÇO, I. B. (2022) *“Metodologia para Planejamento da Paisagem urbana: a Drenagem como Sistema Estruturante do Planejamento e o Sistema de Espaços Livres Multifuncional como Ordenador da Paisagem Urbana”*. 2022. 475f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MIGUEZ, M. G.; DI GREGORIO, L. T.; VERÓL, A. P. (2018) *“Gestão de riscos e desastres hidrológicos”*. 1ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.
- OLIVEIRA, A. K. B.; SOUSA, M. M.; REZENDE, O. M.; MIGUEZ, M. G.; MAGALHÃES, P. C. (2015). *“Estudo de soluções para a Bacia do Rio Imboapu, São Gonçalo, Rio de Janeiro, apoiadas em modelagem matemática”* in Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO GONÇALO (2023). *“São Gonçalo teve volume de chuvas esperado para todo o mês”*. São Gonçalo.

SAYERS, P.; LI, Y.; GALLOWAY, G. et al. *“Flood Risk Management A Strategic Approach”*. Paris: UNESCO, 2013.

SILVA, G. C. O. (2017) *“Uso de instrumentos da gestão do risco de cheias como ferramenta no planejamento urbano”*. 2017. 278f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SINISA (2024). *“Relatório dos Serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas”*. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/resultados-sinisa/RELATORIO_SINISA_AGUAS_PLUVIAIS_2024_v2.pdf Acesso em: 22 jun. 2025.

UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION (2009). *“UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction”*. United Nations, Geneva, Switzerland.