Mapeamento de Risco Potencial de Inundações na Região Hidrográfica da Baía de Guanabara (RH-5) do Estado do Rio de Janeiro

Júlia Teixeira Barbosa [1]; Olga Betania Dias Fica Piras[2]; Christian Basílio Oliveira[3]; Maria Luisa Rodrigues Lado[4]; Gustavo Spiegelberg[5]; Francis Martins Miranda[6]; Osvaldo Moura Rezende[7]

Palavras-Chave – Cheias, Vulnerabilidade, Baía de Guanabara.

INTRODUÇÃO

O crescimento urbano sem um adequado planejamento combinado às desigualdades socioespaciais e às mudanças climáticas pode alterar o comportamento de fenômenos naturais no meio ambiente, intensificando a ocorrência de desastres. Exemplo disso são as inundações, processos naturais, que em contato com ações antrópicas, como o aumento de áreas impermeáveis, e face a uma população vulnerabilizada, tem seus impactos negativos potencializados, resultando em desastres de origem socio-natural. Nesse contexto, o conceito de risco torna-se relevante por estar associado à possibilidade de ocorrência de perdas ou danos decorrentes de situações potencialmente perigosas e o seu reconhecimento por meio da elaboração de mapas de risco apresenta-se como uma ferramenta imprescindível para o planejamento territorial. Segundo a *United Nations International Strategy for Disaster Reduction (*UNISDR), o risco corresponde à probabilidade de consequências prejudiciais ou perdas esperadas resultantes da interação entre ameaças naturais e condições socioeconômicas vulneráveis. No caso das inundações, o risco está relacionado à interação entre o perigo associado ao fenômeno hidrológico, a exposição dos elementos presentes no território e suas condições de vulnerabilidade. Diante disso, este trabalho realizou uma análise integrada entre o Índice de Susceptibilidade do Meio Físico a Inundações (ISMFI v2.0), que aproxima a dimensão do perigo, e o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), para mapear o Risco Potencial de Inundações. O estudo de caso foi realizado na Região Hidrográfica da Baía de Guanabara (RH-V), no Estado do Rio de Janeiro, com o objetivo de classificar zonas com maior risco potencial de inundação, através do Índice de Risco Potencial de Inundações (IRPI). A RH-V possui 31,71% da sua área ocupada classificada com *alto* ou *muito alto* risco potencial de inundações.

METODOLOGIA

O desenvolvimento desse trabalho comtempla mapear o risco potencial relacionado a eventos de inundação na Região Hidrográfica 5 do Estado do Rio de Janeiro. Este mapeamento foi realizado a partir da a aplicação do Índice de Susceptibilidade do Meio Físico a Inundações (ISMFI v2.0), validado pela superposição com o mapa de ocorrência de inundações entre os anos de 2018 e 2026 na RH-5, e do mapeamento do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS). Por fim, realizou-se o cruzamento entre os dados de vulnerabilidade e de suscetibilidade do meio físico a inundações para calcular o Índice de Risco Potencial de Inundação (IRPI), permitindo, assim, a classificação espacial do território de acordo com o risco potencial de inundação.

1) Laboratório Água e Cidade, Escola Politécnica da UFRJ (LAC/DRHIMA-POLI/UFRJ), julia.teixeira@poli.ufrj.br
2) Laboratório Água e Cidade, Escola Politécnica da UFRJ (LAC/DRHIMA-POLI/UFRJ), aolga.marinha.20231@poli.ufrj.br
3) Programa de Engenharia Urbana da Escola Politécnica da UFRJ (PEU-POLI/UFRJ), christian.basilio.peu@poli.ufrj.br
4) Programa de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica e Escola de Química da UFRJ (PEA-POLI&EQ/UFRJ), mluisa.rod@poli.ufrj.br
5) Programa de Engenharia Naval e Oceânica da COPPE/UFRJ (PENO-COPPE/UFRJ), gustavo.spiegelberg@gmail.com
6) Programa de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica e Escola de Química da UFRJ (PEA-POLI&EQ/UFRJ), francismmiranda@gmail.com
7) Programa de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica e Escola de Química da UFRJ (PEA-POLI&EQ/UFRJ); Mestrado Profissional em Arquitetura Paisagística da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ (MPAP-FAU/UFRJ), omrezende@poli.ufrj.br

Índice de Susceptibilidade do Meio Físico a Inundações (ISMFI)

Fundamentado na premissa que áreas de topografia mais plana, próximas de cursos d'água, com elevado grau de impermeabilização do solo e em cotas próximas ao nível do mar, terão uma maior tendência a sofrer com inundações. Miranda (2013) formulou o ISMFI, método obtido a partir da combinação de quatro indicadores: Indicador de Declividade para Drenagem (IDEC), Indicador de Impermeabilização (IIMP), Indicador de Proximidade de Curso D'Água (IPROX) e Indicador de Cota Altimétrica Absoluta (ICOTA).

Na Equação (1), é apresentada a segunda versão do Índice de Susceptibilidade do Meio Físico a Inundações - $ISMFIv2.0$ (Cabral, 2024), na qual foram realizadas adaptações em sua formulação e em seus indicadores, a fim de otimizar seu uso para bacias localizadas em regiões costeiras e montanhosas.

$$ISMFIv2.0 = [IDEC^{n1} \times (p1 \times IIMP + p2 \times IPROX)^{n2}] \times ICOTA \quad (1)$$

Na qual:

- $n1$ - Peso atribuído ao indicador de declividade;
- p 1 - Peso atribuído ao indicador de impermeabilização do solo;
- $n2$ - Peso atribuído ao indicador de proximidade de curso d'água;
- p 2 - Peso atribuído ao segundo termo do produtório, composto pelos somatórios ponderados dos indicadores de impermeabilização do solo e proximidade de curso d'água.
- Note que $n1+n2 = 1$ e $p1+p2 =1$. Neste estudo, foram considerados $p1 = p2 = 0,5$, n 1 =0,67 e $n2 = 0,33$.

Índice de Vulnerabilidade Social (IVS)

O Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) é aplicado neste trabalho de forma simplificada, com o objetivo de dar maior celeridade ao mapeamento do risco potencial, sem perder a dinâmica de distribuição socioeconômica do território. O IVS representa a fragilidade da população diante da ocorrência de eventos de inundação. Desta forma, esta versão simplificada do IVS é estruturada a partir da integração de dois indicadores principais: a densidade demográfica e as condições socioeconômicas da população, como indicado na Equação (2). A definição de pesos neste presente trabalho foi realizada em consulta interna a especialistas do grupo de pesquisa e o método de ponderação não faz parte do trabalho.

O primeiro critério, denominado Indicador de Densidade Demográfica (DD), baseia-se no fato de que áreas com maior concentração populacional apresentam um número mais elevado de pessoas potencialmente expostas a riscos ambientais, contribuindo para o aumento da vulnerabilidade social. O segundo critério corresponde ao Indicador de Renda Média (RM), que representa a vulnerabilidade econômica da população, partindo do entendimento que uma população com menores níveis de renda tendem a apresentar uma menor capacidade de prevenção e recuperação frente à impactos associados a desastres, como por exemplo eventos de inundações.

Ambos os indicadores foram elaborados com base nos dados do Censo Demográfico de 2022, disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Posteriormente, para garantir a comparabilidade entre as diferentes dimensões utilizadas na elaboração do IVS, os valores foram submetidos a procedimentos de normalização, respeitando a natureza e o comportamento estatístico de cada variável analisada.

$$IVS = 0.3 * DD \ + \ 0.7 * RM \quad (2)$$

Índice de Risco Potencial de Inundações (IRPI)

A partir da compreensão que o risco de inundação resulta na interação entre os aspectos físicos do território e dimensões sociais de vulnerabilidade, neste estudo foi aplicado o Índice de Risco Potencial de Inundações (IRPI), adaptado de Cabral (2024). O método combina características físico-ambientais do território e aspectos socioeconômicos da população por meio da combinação do Índice de Suscetibilidade do Meio Físico a Inundações (ISMFI) e do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), como demonstrado na Equação 3.

$$IRPI = (IVS)^{p1} * (ISMFI\ v2.0)^{p2} \qquad (3)$$

Cabral não estabelece valores fixos para os pesos das variáveis, permitindo que esses valores sejam definidos a partir do contexto e objetivo de cada estudo. Dessa forma, neste trabalho, foram adotados pesos iguais (p1 =0,5 e p2=0,5), de modo a garantir uma igual importância a variáveis físicas e social do risco.

RESULTADOS

A Figura 1 apresenta o Mapeamento de Suscetibilidade a Inundações (ISMFI) e o Mapeamento de Vulnerabilidade Social (IVS) da Região Hidrográfica 5 do Estado do Rio de Janeiro.

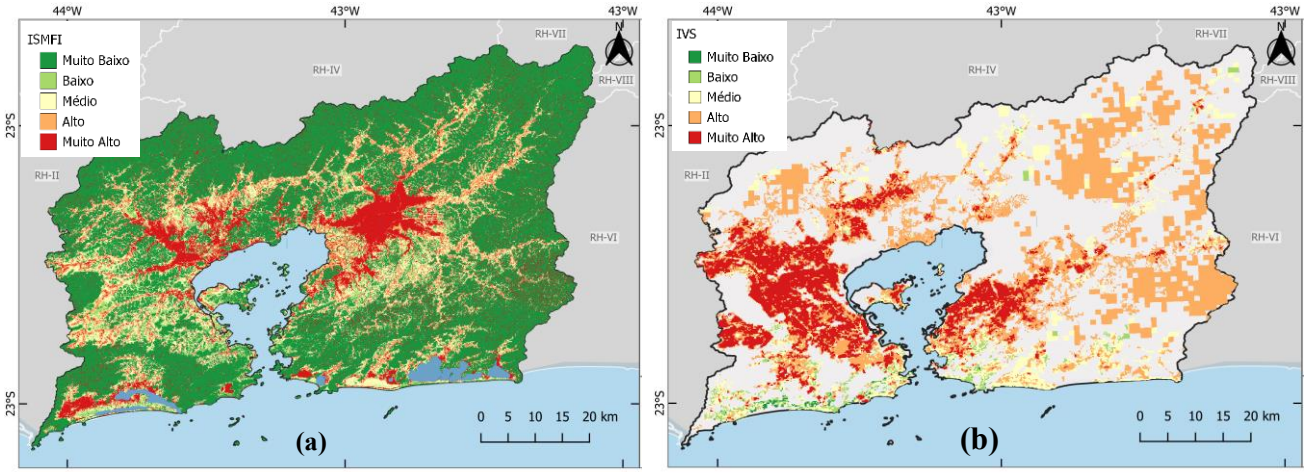


Figura 1. Mapeamento da (a) Susceptibilidade a Inundações e (b) da Vulnerabilidade Social na RH-5. Fonte: autoria própria.

Na Figura 2, observam-se as áreas que contém grupos expostos à um maior e menor risco potencial ao sofrer com eventos de inundação. Ao comparar o mapeamento do ISMFI com o mapeamento do IRPI, identificam-se áreas que apresentam uma alta susceptibilidade a inundação, porém não configuram risco potencial significativo. Esse resultado evidencia a importância da análise cruzada entre dimensões do meio físico e de ocupação humana e econômica para a determinação do risco. A RH-V apresenta um cenário crítico com quase um terço (31,71%) de sua área ocupada está inserida em áreas classificadas como de *alto* ou *muito alto* risco potencial de inundações. É válido ressaltar que as regiões que apresentam maiores concentrações populacionais de baixa renda, se encontram localizadas nas faixas de risco *médio* e *alto*, dado que reforça o caráter socialmente desigual da exposição ao risco potencial de inundação na Região Hidrográfica da Baía de Guanabara.

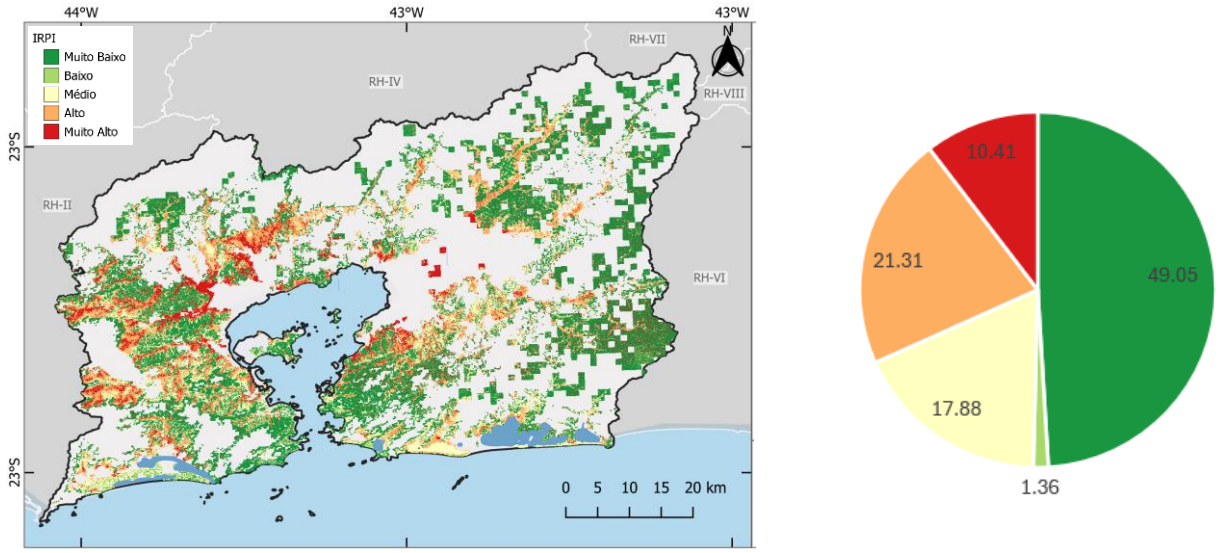


Figura 2. Mapeamento do Risco Potencial de Inundações na RH-5 Fonte: autoria própria.

CONCLUSÃO

O mapeamento do risco potencial consolida-se como uma ferramenta fundamental para o planejamento urbano e para a formulação de políticas públicas, sobretudo devido a utilização do ISMFI, que aproxima a dimensão do perigo cuja identificação direta demandaria ferramentas de alto custo. Esse método, além de identificar as áreas com maior susceptibilidade a inundações, evidencia os locais em que encontram uma população socialmente vulnerável, o que resulta num maior impacto na ocorrência desses eventos. Essa análise é essencial para a validação de cenários de risco, a identificação de áreas recorrentemente afetadas e a contextualização socioinstitucional da segurança hídrica, colaborando diretamente para subsidiar ferramentas de planejamento do território para construção de cidades mais resilientes.

REFERÊNCIAS

CABRAL, F. M. (2024). "*Índice de risco potencial de inundações como ferramenta para o planejamento de áreas urbanas em expansão*" [PhD Thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Programa de Engenharia Civil. Dissertação de Mestrado]. http://www.coc.ufrj.br/pt/dissertacoes-de-mestrado/663-2024/10318-felipe-manoel-cabral

IBGE, 2022. Grade Estatística. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

MIRANDA, F. M. (2016). "*Índice de Susceptibilidade do Meio Físico a Inundações como Ferramenta para o Planejamento Urbano*". Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ

MIRANDA, F.M.; CABRAL, F.M.*;* OLIVEIRA, A.K.B.; TURINI, L.R.; Osvaldo Moura REZENDE, O.M.*; MIGUEZ, M.G. (2023). "Mapeamento Da Susceptibilidade A Inundações No Município De Maricá-RJ*". III END – Encontro Nacional de Desastres.

NOBRE, A. D., CUARTAS, L. A., HODNETT, M., et al. Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model. Journal of Hydrology, v. 404, n. 1–2, p. 13–29, 2011. DOI:10.1016/j.jhydrol.2011.03.051.

SILVA, G.; MIGUEZ, M.; GREGÓRIO, L.; VERÓL, A. (2016). "*Vulnerability Index application and suitability of different methodologies applied to the municipality of Cuiabá, Mato Grosso – Brazil"*E3SWeb of Conferences 7, 08013. DOI:10.1051/e3sconf/20160708013

UNISDR, 2011, Revealing Risk, Redeining Development: The 2011 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Disponível em: < https://www.undrr.org/publication/global-assessment-report-disaster-risk-reduction- 2011>. Acesso em 21 jun. 2026.