

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE DO MEIO FÍSICO A INUNDAÇÕES NA BACIA DO RIO MURIAÉ (MG/RJ)

Breno Verly Rosa¹; Rosa Maria Formiga Johnsson² & Bruna Peres Battemarco³

Abstract: The susceptibility of the physical environment to flooding refers to the natural tendency of an area to convert precipitation into surface runoff and to accumulate excess water flows. Its study provides a partial and preliminary representation of flood hazard and can serve as an initial step in the territorial planning process. In this sense, the objective of this study was to assess the susceptibility of the physical environment to flooding in the Muriaé River Basin, which encompasses the states of Minas Gerais and Rio de Janeiro, by applying the Physical Environment Susceptibility Index to Flooding (PhySFI). The index was developed in a GIS environment and designed to integrate physical variables - Slope, Elevation, Imperviousness, and Proximity to drainage - into the mapping of potentially flood-prone areas. The weighting of the indicators was carried out through sensitivity analysis, and the final formulation of the index was based on the scenario in which areas of highest susceptibility most closely matched the historical flooding points in the basin. The results indicated that all municipalities within the basin exhibit some degree of physical susceptibility to flooding. Furthermore, only 1.04% of the basin area was classified as having High or Very High Susceptibility. The application of the index demonstrated its potential to assess flood-prone areas beyond coastal cities, establishing it as an important tool to support risk mapping and territorial planning.

Resumo: A susceptibilidade do meio físico a inundações se refere ao grau de propensão natural que uma área possui para a transformação da precipitação em escoamento superficial e o acúmulo dessas vazões excedentes. O seu estudo constitui uma representação parcial e preliminar do perigo, podendo ser utilizado como etapa inicial no processo de planejamento territorial. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar a susceptibilidade do meio físico a inundações na Bacia do Rio Muriaé, que abrange Minas Gerais e Rio de Janeiro, por meio da aplicação do Índice de Susceptibilidade do Meio Físico à Inundação. O índice foi desenvolvido em ambiente GIS e concebido para integrar variáveis físicas - Declividade, Cota Altimétrica Absoluta, Impermeabilização do Solo e Proximidade de Cursos d'água - ao mapeamento de áreas potencialmente inundáveis. A ponderação dos indicadores foi realizada através de análise de sensibilidade, sendo a formulação final do índice determinada a partir da conjuntura onde as áreas de maior susceptibilidade mais coincidiram com os pontos históricos de inundação na bacia. O resultado indicou que todos os municípios da bacia apresentaram algum nível de susceptibilidade física a inundação. Além disso, verificou-se que apenas 1,04% da área da bacia é classificada como Susceptibilidade Alta e Muito Alta. A aplicação do índice mostrou seu potencial de avaliar áreas susceptíveis a inundações para além das cidades costeiras, configurando uma importante ferramenta para apoiar o processo de mapeamento dos riscos e de planejamento territorial.

Palavras-Chave – Risco a inundações; Sistema de informação geográfica; Avaliação multicritério.

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - PEAMB/UERJ. Rua São Francisco Xavier, 524 - Maracanã - Rio de Janeiro - RJ - CEP: 20550-900 - Brasil - e-mail: verly.breno@posgraduacao.uerj.br.

² Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - PEAMB/UERJ. Rua São Francisco Xavier, 524 - Maracanã - Rio de Janeiro - RJ - CEP: 20550-900 - Brasil - e-mail: rosa.formiga@eng.uerj.br.

³ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - PEAMB/UERJ. Rua São Francisco Xavier, 524 - Maracanã - Rio de Janeiro - RJ - CEP: 20550-900 - Brasil - e-mail: brunabattermarco@eng.uerj.br.

INTRODUÇÃO

As inundações constituem fenômenos hidrometeorológicos de origem natural, cuja frequência e magnitude têm se intensificado nas últimas décadas. A expansão urbana desordenada, a crescente impermeabilização das superfícies, a supressão da vegetação e a ocupação de áreas de risco, associadas a alterações nos regimes pluviométricos e a ocorrência de eventos extremos, têm contribuído para tal intensificação. Nesse contexto, as inundações figuram entre os desastres naturais de maior recorrência e impacto, resultando em significativos prejuízos socioeconômicos, degradação ambiental e riscos à saúde e à segurança das populações expostas (Vojtek et al, 2023).

A mitigação dos impactos decorrentes das inundações está fortemente relacionada à adoção de estratégias eficazes de gestão do uso e ocupação do solo. No entanto, a implementação de ações preventivas ainda representa um desafio substancial em diversos países, especialmente em contextos urbanos marcados por crescimento desordenado (Mahmoud e Gan, 2018). Diante dessa problemática, o mapeamento de risco de inundação e/ou de seus componentes configura-se como uma ferramenta fundamental, ao permitir a identificação precisa das áreas mais susceptíveis à ocorrência desses eventos (Vojtek et al., 2023).

Nessa perspectiva, destaca-se o entendimento da susceptibilidade do meio físico a inundações, que se refere ao grau de propensão natural que uma área possui para a transformação da precipitação em escoamento superficial e o acúmulo dessas vazões excedentes. Está associada às características físicas de uma bacia hidrográfica, como altimetria, declive, pedologia, vegetação, uso e ocupação do solo e hidrografia (Pereira, 2020). Tais características que determinarão o volume de águas disponíveis para escoar, as retenções superficiais, a velocidade de escoamento e o tempo de concentração da bacia, dentre outros parâmetros físicos que influenciam na resposta da bacia a um determinado cenário de precipitação (Miranda, 2016).

O estudo da susceptibilidade do meio físico a inundações, conforme destaca Miranda (2016), constitui uma representação parcial e preliminar do perigo, podendo ser utilizado como etapa inicial no processo de planejamento territorial. Tal análise permite a classificação do território com base em diferentes graus de criticidade, oferecendo uma base técnica para a priorização de áreas e ações.

Tendo por base esses conceitos, a área de estudo do presente trabalho é a Bacia do Rio Muriaé (BRM), uma sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Com aproximadamente 8.126 km² de extensão, a BRM abrange 26 municípios nos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, e apresenta elevada frequência de eventos hidrológicos extremos, com registros recorrentes de inundações que resultam em expressivos impactos socioeconômicos e ambientais. Neste sentido, o objetivo do presente trabalho é avaliar a susceptibilidade do meio físico a inundações na Bacia do Rio Muriaé, a partir da aplicação do Índice de Susceptibilidade do Meio Físico à Inundação (ISMFI).

METODOLOGIA

A abordagem adotada neste estudo baseia-se na metodologia de decisão multicritério desenvolvida por Miranda (2016). O Índice de Susceptibilidade do Meio Físico à Inundação (ISMFI) foi concebido para integrar variáveis físicas relevantes ao mapeamento de áreas potencialmente inundáveis e foi desenvolvido em ambiente GIS, com o intuito de fornecer uma ferramenta de rápida aplicação, com caráter replicável, e robusta para subsidiar o planejamento urbano pela identificação de áreas mais sujeitas a falhas da rede de drenagem (Miranda, 2016).

Ele é composto por quatro indicadores, considerados mais importantes na determinação de áreas susceptíveis a inundações: Indicador de Impermeabilização do Solo (IMP), Indicador de Declividade (IDEC), Indicador de Cota Altimétrica Absoluta (ICOTA) e Indicador de Proximidade do Curso d'Água (IPROX). O Indicador de Impermeabilização do Solo busca diferenciar as áreas com diferentes tipos de uso do solo quanto ao seu grau de impermeabilização e, conseqüentemente, com maior potencial de geração e acúmulo de escoamentos superficiais. Dessa forma, áreas impermeáveis (como as áreas urbanas) comprometem a infiltração da água da chuva, aumentando o volume de escoamento superficial e favorecendo, conseqüentemente, a formação de inundações. A declividade média do terreno, representada pelo Indicador de Declividade, refere-se à inclinação da superfície em relação à horizontal, que influencia a velocidade do escoamento da água. Em áreas de alta declividade, a água escoar rapidamente, não havendo condições favoráveis para o seu acúmulo. Já o Indicador de Cota Altimétrica Absoluta tem como objetivo hierarquizar as áreas com altitudes mais baixas em relação ao entorno, uma vez que essas áreas tendem a funcionar como zonas de acumulação de água, assim como as regiões situadas em cotas próximas a rios, que são naturalmente mais susceptíveis a inundações. Por fim, o Indicador de Proximidade do Curso d'Água, que integra a declividade do terreno à distância em relação ao curso d'água mais próximo, tem como objetivo representar as características morfológicas do talvegue, além da tendência de direcionamento do escoamento superficial excedente para as planícies de inundação adjacentes.

A normalização utilizada para os indicadores de Impermeabilização do Solo, Declividade e Cota Altimétrica Absoluta é apresentada na Tabela 1, de acordo com os valores propostos por Miranda (2016) para os dois primeiros indicadores. Ressalta-se que os valores considerados pelo autor para o Indicador de Cota Altimétrica Absoluta não contemplam as especificidades locais da área de estudo. O autor sugere que os parâmetros por ele utilizados podem ser razoavelmente replicados em bacias litorâneas situadas entre a Serra do Mar e o Oceano Atlântico, na costa sudeste do Brasil, contexto distinto do analisado neste trabalho. Neste sentido, as classes para a normalização dos valores do indicador foram construídas a partir de análise das cotas de referência – atenção, alerta e inundação – associadas às elevações dos níveis de corpos hídricos da região publicadas no Relatório Anual do Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do Rio Muriaé (SGB, 2024).

Tabela 1 – Normalização dos indicadores de Impermeabilização do Solo, Declividade e Cota Altimétrica Absoluta.

Indicador	Classes	Valor
Impermeabilização do Solo	Corpo hídrico	100
	Área urbanizada	90
	Área agrícola	20
	Campos e pastagens	15
	Floresta estacional/vegetação arbórea densa	15
	Floresta estacional/vegetação arbórea esparsa	10
	Área não classificada	0
Declividade	≤ 0,5	100
	0,5 – 1,5	75
	1,5 – 3,0	50
	3,0 – 8,0	25
	> 8,0	0
Cota Altimétrica Absoluta	≤ 390	100
	390 - 500	75
	500 - 800	50
	800 - 1040	25
	> 1040	0

Fonte: Adaptado de Miranda (2016).

Já a Tabela 2 apresenta os valores do indicador de Proximidade do Curso D'água para as respectivas faixas de declividade e distância consideradas.

Tabela 2– Classes de Proximidade do Curso D'água e seu valor normalizado.

Distância (m)	Declividade (%)				
	≤ 0,5	0,5 – 1,5	1,5 – 3,0	3,0 – 8,0	> 8,0
100	100	100	75	50	0
200	100	75	50	25	0
300	75	50	25	0	0
400	50	25	0	0	0
500	25	0	0	0	0

Fonte: Miranda (2016).

O ISMFI é formulado por meio da Equação 1. Ressalta-se que o indicador de declividade foi destacado dos demais por ser este um elemento fundamental para a formação de áreas alagadas (Miranda, 2016). Os valores do índice variam de 0 a 100 e as classes de susceptibilidade do meio físico são divididas em 5 níveis, de Susceptibilidade Muito Baixa a Susceptibilidade Muito Alta.

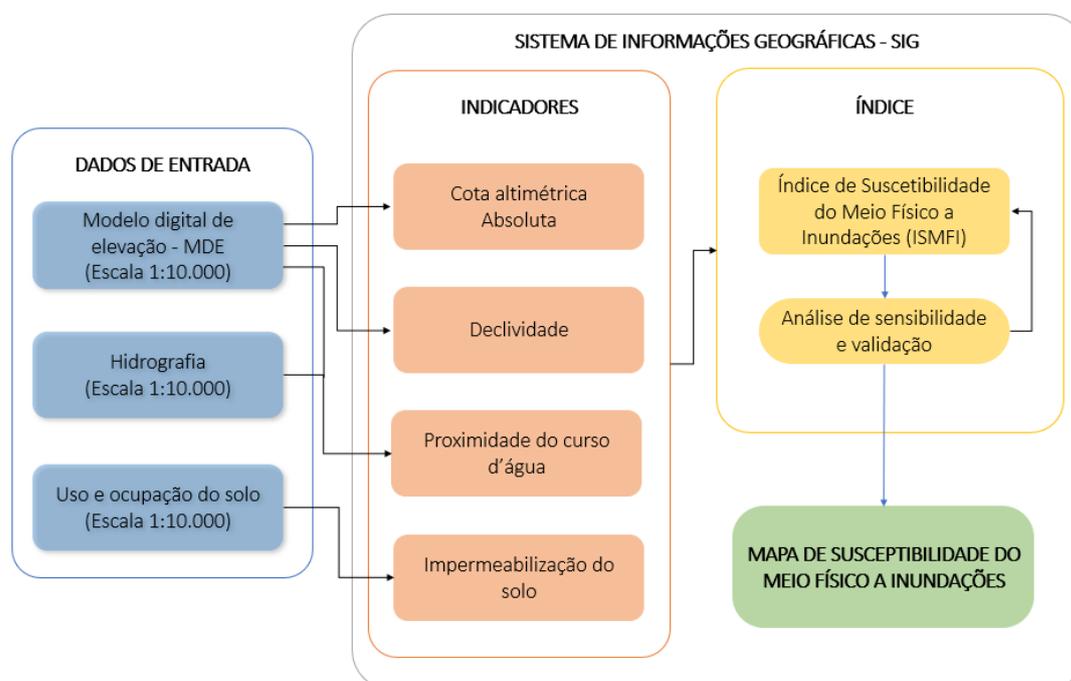
$$ISMFI = I_{DEC}^{E1} \times (c1 \times I_{IMP} + c2 \times I_{PROX} + c3 \times I_{COTA})^{E2} \quad (1)$$

Onde: E c são os pesos atribuídos aos indicadores;

$$E1 + E2 = 1; \text{ e } c1 + c2 + c3 = 1$$

O fluxograma da Figura 1 sintetiza as etapas metodológicas do trabalho.

Figura 1 – Fluxograma da metodologia para obtenção do mapa de susceptibilidade do meio físico a inundações



RESULTADOS

Estudo de caso

A Bacia do Rio Muriaé (BRM) é a quarta maior sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, uma das maiores e mais importantes bacias do Brasil, que está localizada entre três dos Estados mais populosos do país - São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais (Figura 2). Com uma área de aproximadamente 8.126 km², a Bacia do Rio Muriaé abrange 26 municípios — sendo 18 localizados em Minas Gerais e 8 no Rio de Janeiro. Do seu território total, cerca de 45% está inserida em território mineiro, enquanto os 55% restantes situam-se em solo fluminense (AGEVAP, 2021).

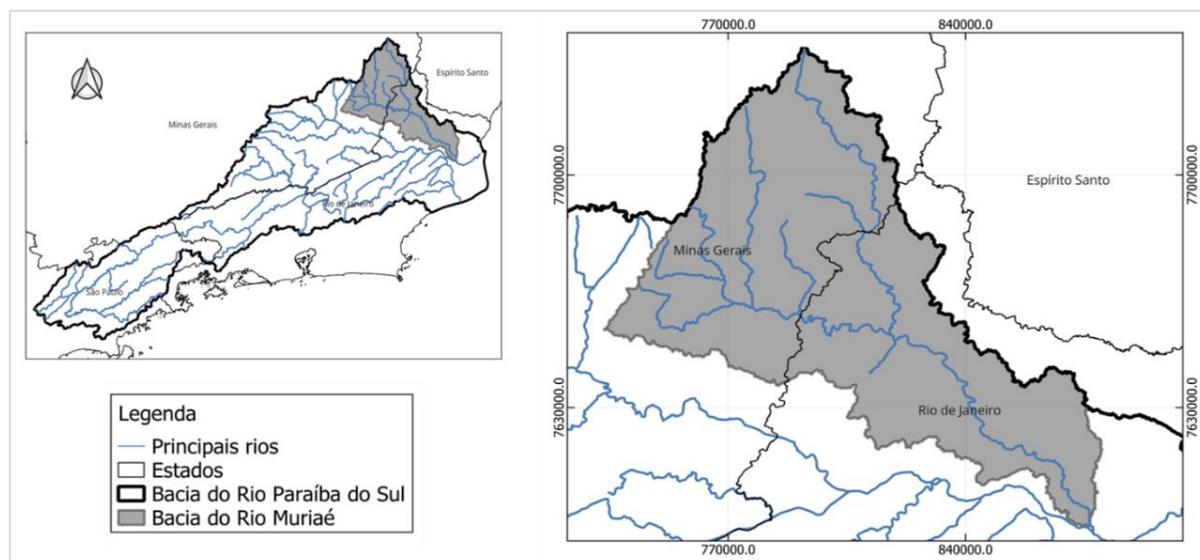
De acordo o Censo IBGE (2010), a população urbana da bacia é de 336.007 habitantes. Na bacia, predominam municípios de pequeno porte, com a grande maioria deles apresentando populações abaixo de 20 mil habitantes. Em termos populacionais totais, as principais cidades são: Muriaé (104.108 hab.), Carangola (31.240 hab.), Itaperuna (101.041 hab.) e Porciúncula (17.288 hab.) (IBGE, 2022).

O Rio Muriaé, que dá nome e é o principal rio da bacia, nasce no município de Miraiá (MG) e desagua, 300 km depois, no rio Paraíba do Sul em Campos dos Goytacazes (RJ). É um tributário da margem esquerda do rio Paraíba do Sul e é considerado o seu último contribuinte principal antes da sua foz no Oceano Atlântico.

A Bacia do Rio Muriaé insere-se em uma região de clima tropical, com predomínio do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, caracterizado por verões quentes e chuvosos e invernos secos. As temperaturas médias anuais situam-se entre 27,5 °C e 33 °C e a precipitação média anual varia entre 950 mm e 1.500 mm, concentrando-se principalmente nos meses de novembro a março, o que contribui para a elevação dos riscos hidrológicos nesse período (Prado et al., 2005).

A Bacia do Rio Muriaé possui um histórico significativo de eventos críticos relacionados às cheias. Eventos críticos nessa sub-bacia são comuns, com algumas cidades atingidas quase que anualmente por inundações (ANA, 2019). Nesse contexto, destacam-se as grandes cheias de 1925, 1945, 1979, 1997, 2007, 2008, 2012 e 2018, que afetaram as cidades de Muriaé, Carangola e Patrocínio do Muriaé, em Minas Gerais, e Laje do Muriaé, Itaperuna, Italva, Porciúncula e Cardoso Moreira, no Rio de Janeiro.

Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo.



Levantamento de Dados e Resultados dos Indicadores

Os dados para o equacionamento da susceptibilidade do meio físico a inundações na Bacia do Rio Muriaé foram obtidos a partir das bases de dados de órgãos oficiais, como a NASA e órgãos gestores da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Fontes dos dados levantados para a aplicação do Índice de Susceptibilidade do Meio Físico a Inundações.

Indicadores	Camada	Fonte de dados
Impermeabilização do Solo	Uso e ocupação do solo	Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP, 2015)
Indicador de Declividade	Modelo Digital de Elevação – MDE	NASA e United States Geological Survey (USGS)
Cota Altimétrica Absoluta		
Proximidade do Curso D'água	Hidrografia	Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (PIRH, 2021)

Na Figura 3, são apresentados os resultados obtidos para cada um dos indicadores: (a) Impermeabilização do Solo; (b) Declividade; (c) Cota Altimétrica Absoluta; e (d) Proximidade do Curso D'água. O mapa resultante da aplicação do Indicador de Impermeabilização do Solo revela que a maior parte da área apresenta valores baixos para o indicador. Isso é justificado devido ao fato de que a classe preponderante referente ao uso do solo na bacia é de campos/pastagens (56,0 %), seguida de áreas agrícolas (21,6%). As manchas correspondentes à classe “Muito Alta” concentram-se nas áreas urbanizadas, que representam apenas 1,7% do uso do solo da bacia. Os resultados obtidos para o Indicador de Declividade, por sua vez, revelam que a maior parte da bacia apresenta susceptibilidade “Muito Baixa” e “Baixa” para o indicador, o que reflete a predominância de terrenos com alta declividade e menos propensos ao acúmulo de água na bacia, de forma geral. Não são observadas áreas com susceptibilidade “Muito Alta”, embora haja, em pequena proporção, regiões com declividades enquadradas em “Alta” susceptibilidade, localizadas, principalmente, ao longo dos rios principais e seus afluentes.

A respeito do Indicador de Cota Altimétrica Absoluta, observa-se uma predominância das classes "Alta" e "Muito Alta", principalmente na porção sul e sudeste da bacia, indicando terrenos mais baixos nessas porções. Por fim, o mapa resultante da aplicação do Indicador de Proximidade de Curso d'Água mostra ampla predominância das classes “Alta” e “Muito Alta”, indicando que grande parte do território está localizada próxima a corpos hídricos e, portanto, mais susceptível a eventos de inundação.

Ponderação, análise de sensibilidade e validação – ISMFI aplicado à Bacia do Rio Muriaé

A ponderação dos indicadores formadores do ISMFI foi realizada através de análise de sensibilidade, alterando-se os pesos dos indicadores. Foram realizadas sete simulações, conforme apresentado na Tabela 4. Nesta análise, procurou-se seguir a estrutura proposta por Miranda (2016) quanto ao peso dado aos termos do produtório (0,25 para declividade e 0,75 para o termo que contempla o somatório ponderado com os outros indicadores). Nas simulações, foi atribuído peso menor ao Indicador de Cota Altimétrica Absoluta, devido às características da bacia em estudo, conforme citado na metodologia.

Figura 3 - Mapa dos indicadores que compõe o Índice de Susceptibilidade do Meio Físico a Inundações na área de estudo (a) Impermeabilização do Solo; (b) Declividade; (c) Cota Altimétrica Absoluta; (d) Proximidade do Curso D'água.

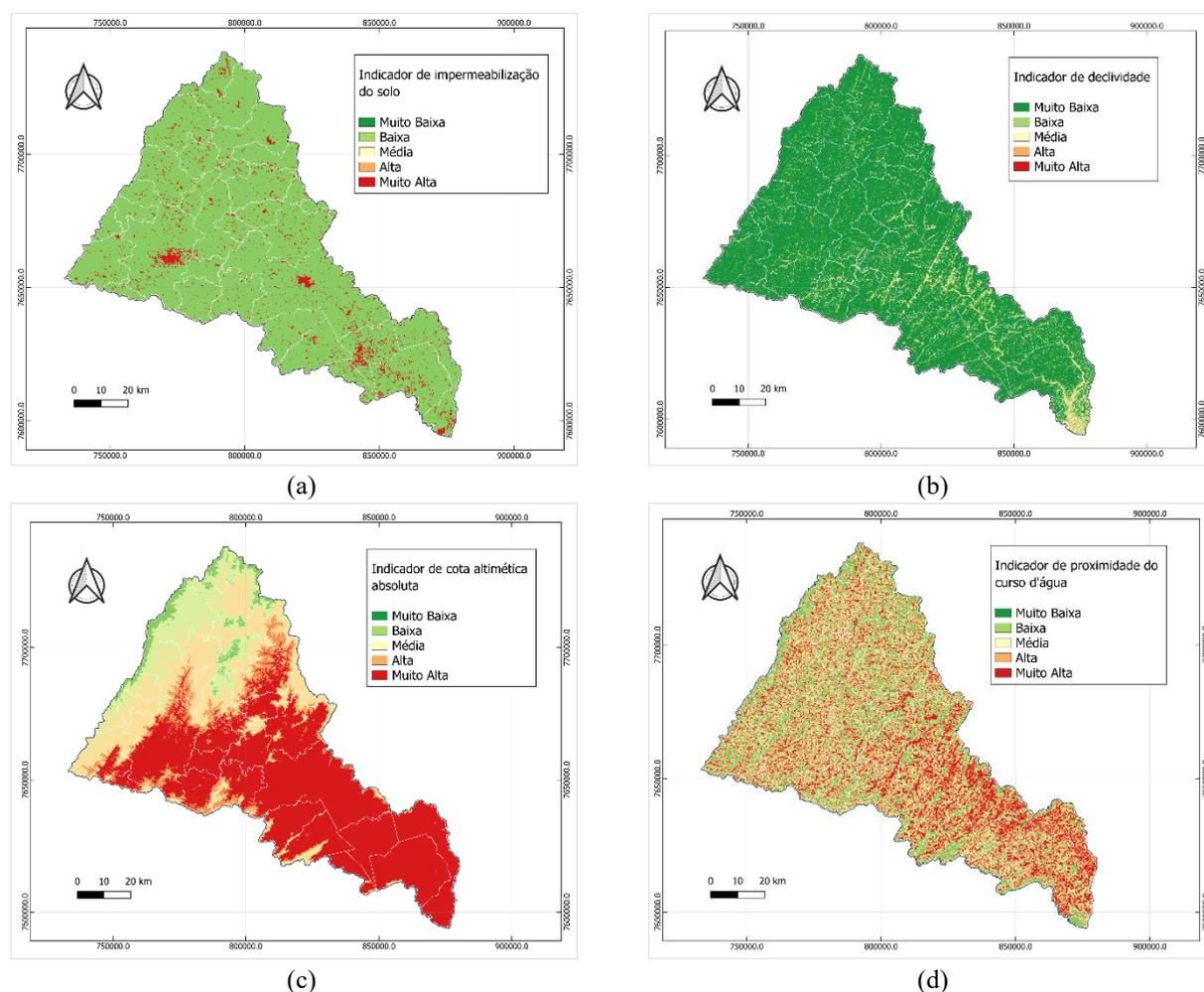


Tabela 4 – Testes realizados na análise de sensibilidade para definição do peso de cada indicador na formulação do ISMFI.

Formulações	Indicador de Declividade	Cota Altimétrica Absoluta	Impermeabilização do Solo	Proximidade do Curso D'água
ISMFI_Alt1	0,25	0,20	0,40	0,40
ISMFI_Alt2	0,25	0,10	0,15	0,75
ISMFI_Alt3	0,25	0,10	0,45	0,45
ISMFI_Alt4	0,25	0,10	0,70	0,20
ISMFI_Alt5	0,25	0,10	0,50	0,40
ISMFI_Alt6	0,25	0,1	0,30	0,60
ISMFI_Alt7	0,25	0,1	0,60	0,30

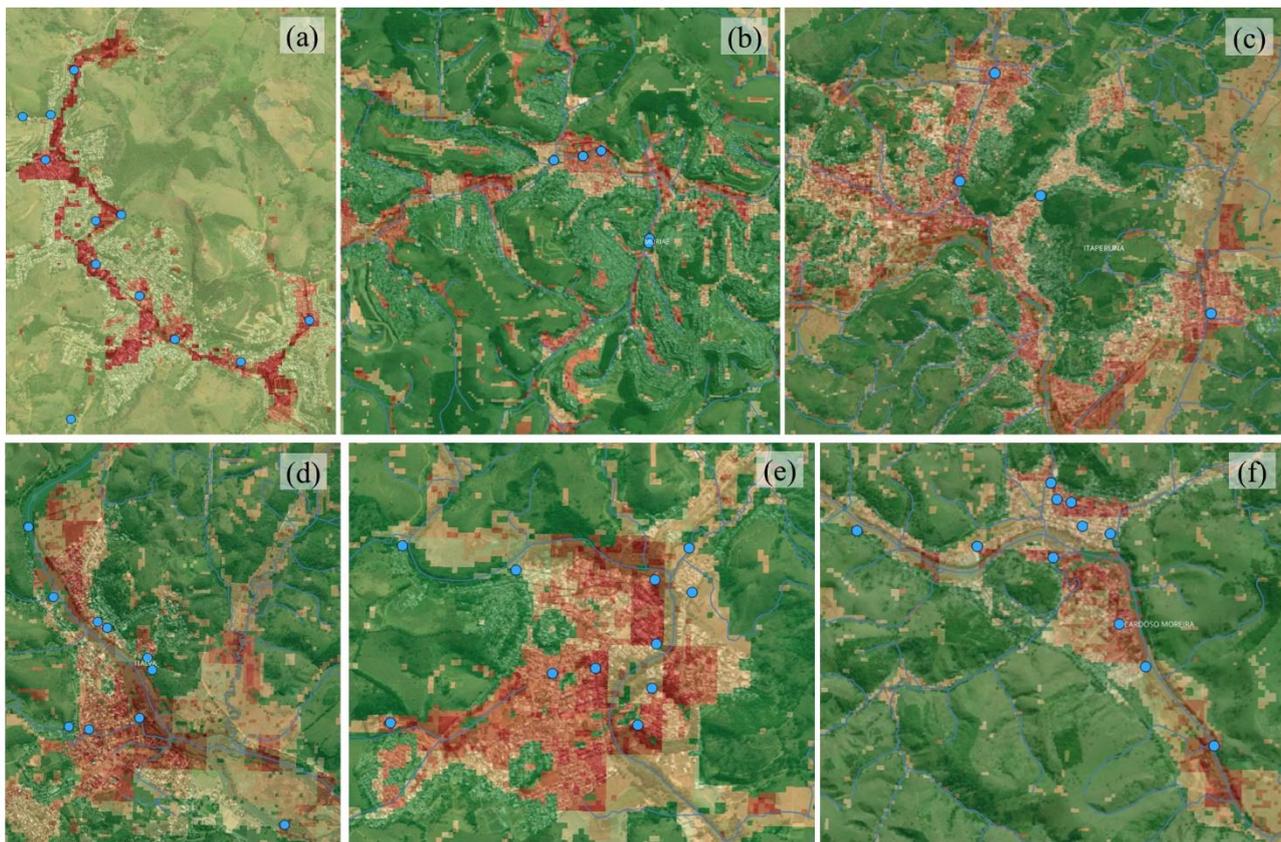
A resposta às variações dos pesos foi comparada a pontos históricos de alagamento nos municípios de Carangola, Cardoso Moreira, Itálva, Itaperuna, Laje do Muriaé, Mirai, Muriaé, Natividade, Porciúncula e Tombos (ANA, 2019). Assim, os pesos finais do índice foram determinados a partir da conjuntura onde as áreas de maior susceptibilidade (Alta e Muito Alta) mais

coincideram com os pontos de inundação. O teste com melhor aderência entre os resultados da aplicação do ISMFI e os pontos históricos de alagamento foi a formulação “ISMFI_Alt5”, que resulta na Equação 2.

$$\text{ISMFI} = I_{\text{DEC}}^{0,25} \times (0,10 \times I_{\text{COTA}} + 0,50 \times I_{\text{IMP}} + 0,40 \times I_{\text{PROX}})^{0,75} \quad (2)$$

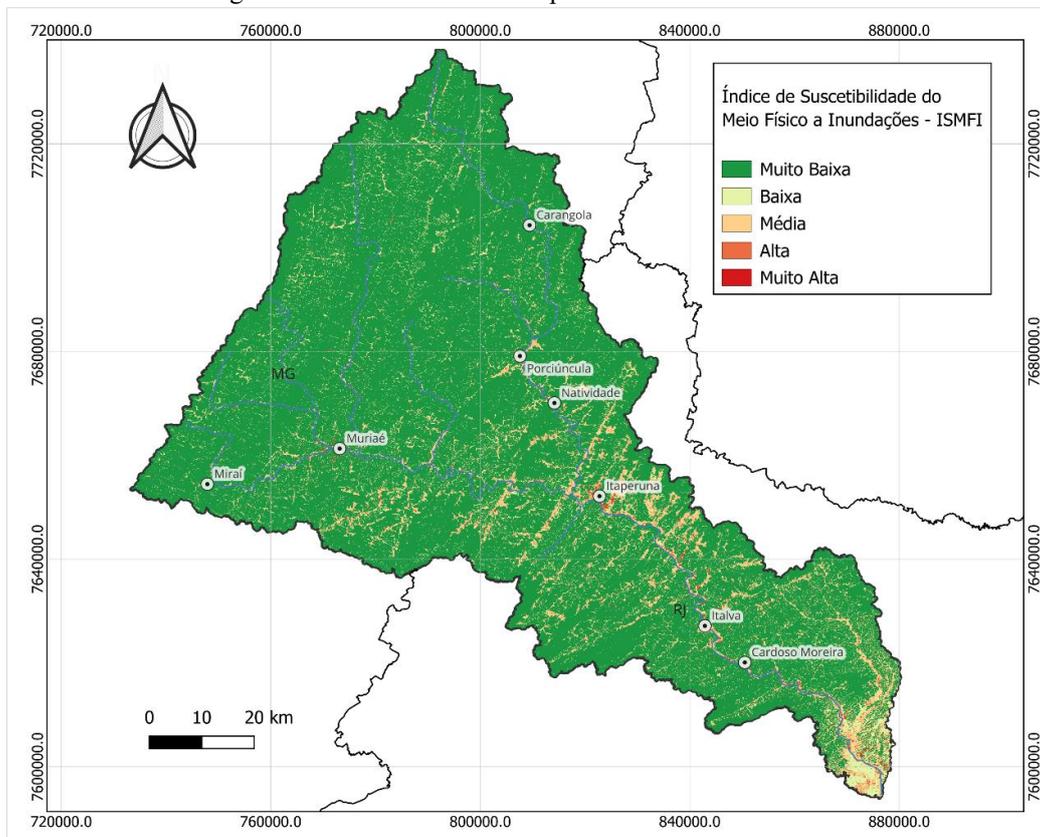
A Figura 4 ilustra como exemplo a comparação dos pontos de alagamento com o resultado obtido com a aplicação do ISMFI nos municípios de Carangola (Figura 4a), Muriaé (Figura 4b), Itaperuna (Figura 4c), Italva (Figura 4d), Porciúncula (Figura 4e) e Cardoso Moreira (Figura 4f), indicando que, para a ponderação final escolhida, as áreas de maior susceptibilidade coincidem, em grande parte, com os locais onde os pontos de alagamento são mais frequentes. Cabe ressaltar que em outros municípios, como Mirai e Natividade, os resultados não foram tão aderentes, o que indica ainda a necessidade de novos testes até a obtenção da melhor formulação para a bacia.

Figura 4 - Resultado do ISMFI e Comparação com os Pontos Históricos de Alagamento: (a) Carangola; (b) Muriaé; (c) Itaperuna; (d) Italva; (e) Porciúncula; e (f) Cardoso Moreira.



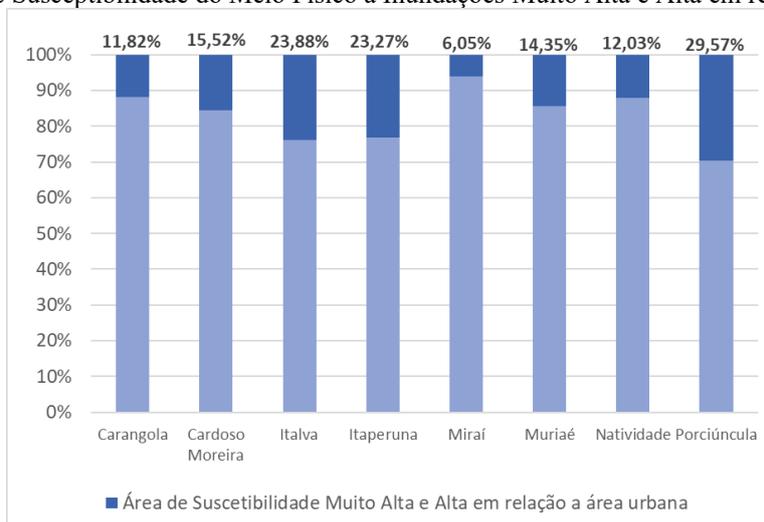
O resultado para o ISMFI final, utilizando-se a Equação 2, está apresentado na Figura 5. Todos os municípios da bacia apresentaram algum nível de susceptibilidade física a inundações. Considerando a bacia hidrográfica em sua totalidade, verifica-se que 86,98% da área avaliada apresenta Susceptibilidade Muito Baixa a inundações, enquanto 4,06% exibem Susceptibilidade Baixa, 7,92% Média, 0,91% Alta e 0,13% Muito Alta. Os municípios com as maiores extensões classificadas nas categorias de Alta e Muito Alta susceptibilidade são Campos dos Goytacazes, Italva, Itaperuna, Cardoso Moreira e Laje do Muriaé. Em compensação, as menores áreas sob tais classificações foram registradas em São Sebastião da Vargem Alegre, São Francisco do Glória, Divino, Rosário da Limeira e Varre-Sai.

Figura 5 – Resultado do ISMFI para a Bacia do Rio Muriaé.



A Figura 6 apresenta a porcentagem da área urbana de oito municípios da bacia, que se sobrepõe a zonas do meio físico classificadas como de susceptibilidade muito alta e alta à ocorrência de inundações. Destacam-se os valores apresentados pelos municípios de Porciúncula, com 29,57% de sua área urbana situada em zonas com alta e muito alta propensão, sugerindo condições do meio físico mais favoráveis à formação de inundações. Itálva (23,88) e Itaperuna (23,27%) também apresentam parcelas expressivas de suas áreas urbanas com alta e muito alta susceptibilidade, dentre os municípios analisados, em contrapartida ao que é observado nos municípios de Mirai (6,05%), Carangola (11,82%) e Natividade (12,03%).

Figura 6 – Área de Suscetibilidade do Meio Físico a Inundações Muito Alta e Alta em relação à área urbana.



CONCLUSÕES

O artigo apresenta uma abordagem baseada em indicadores para avaliar parcialmente o perigo de inundação, a partir da aplicação do Índice de Susceptibilidade do Meio Físico à Inundação (ISMFI), concebido para integrar variáveis físicas relevantes ao mapeamento de áreas potencialmente inundáveis.

Os resultados indicam que o índice pode ser considerado uma importante ferramenta para avaliar áreas susceptíveis a inundações para além das cidades costeiras, onde foi primeiro aplicado por Miranda (2016). Isso foi verificado a partir da validação dos resultados com os pontos históricos de alagamento, mostrando que o índice representou de maneira adequada as áreas de maior susceptibilidade a inundações em vários municípios que integram a bacia em estudo. No entanto, como em alguns municípios, como Mirai e Natividade, os resultados não foram tão aderentes, pretende-se realizar novos testes, variando os pesos dos indicadores (inclusive, sem considerar o Indicador de Cota Altimétrica Absoluta), até a obtenção da melhor formulação para a bacia.

Por fim, ressalta-se que ferramentas do tipo podem contribuir para o processo de mapeamento dos riscos oferecendo, conseqüentemente, informações estratégicas para o entendimento da susceptibilidade a inundações em determinada área, servindo para subsidiar o planejamento urbano.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. *Estudos Auxiliares para Gestão do Risco de Inundações da Bacia do Rio Paraíba do Sul*. Brasília, 2019. Disponível em: <<http://gripbsul.ana.gov.br/Sisprec.html>>.
- ASSOCIAÇÃO PRÓ-GESTÃO DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL (AGEVAP). *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Pomba e Muriaé (PDRH da PS2)*. Resende, RJ. 2021.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo*. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Áreas urbanizadas, Loteamento vazio, Área total mapeada e Subcategorias*. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.
- MAHMOUD, S. H.; GAN, T. Y. *Multi-criteria approach to develop flood susceptibility maps in arid regions of Middle East*. Journal of Cleaner Production, v. 196, p. 216-229, 2018.
- MIRANDA, F. M. *Índice de Susceptibilidade do Meio Físico a Inundações como Ferramenta para o Planejamento Urbano*. Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Civil, 2016.
- PEREIRA, C., MIGUEZ, M., DI GREGÓRIO, L., HADDAD, A., VÉROL, A., Inundation Risk Index as an Urban Planning Supportive Tool, J. sustain. dev. energy water environ. syst., 8(2), pp 235-251, 2020.
- PRADO, R. B., DANTAS, M. E., FIDALGO, E. C. C., GONÇALVES, A. O., SILVEIRA, M. D. M. L., VICENTE, P., DOURADO, F. *Diagnóstico do meio físico da Bacia hidrográfica do Rio Muriaé*. Embrapa Solos – Documentos (Infoteca-E). 2005.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB). *Relatório Anual do Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do Rio Muriaé*. São Paulo, SP. 2024.
- VOJTEK, M. et al. *Combined basin-scale and decentralized flood risk assessment: a methodological approach for preliminary flood risk assessment*. Hydrological Sciences Journal, v. 68, n. 3, p. 355–378, 2023.