MAPEAMENTO DE INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS COM USO DE LÓGICA FUZZY E SIG: ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE NATAL/RN - BRASIL

Jeferson Gomes da Silva [1] Lutiane Queiroz de Almeida [2] & Francker Duarte de Castro [3]

Palavras-Chave – Inundações, Lógica Fuzzy e SIG.

INTRODUÇÃO

Diversas são as ameaças que se difundem nas áreas urbanas ao redor do mundo, as quais desencadeiam distintas situações de riscos. Veyret (2007) evidencia que as ameaças presentes no espaço urbano não se restringem a eventos naturais isolados, mas constituem um conjunto complexo de processos naturais, tecnológicos, sociais, econômicos e geopolíticos que se inter-relacionam e estão presentes em todo território urbano, pois as cidades são percebidas como o "espaço dos perigos/ameaças".

Os fenômenos hidrológicos, especialmente as inundações e os alagamentos, são considerados as principais ameaças às quais a população do município de Natal/RN está exposta, conforme constatado pelo Plano Diretor de Natal (PDN, 2022) e pelo Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR, 2025). Ademais, evidências em registros de noticiários confirmam que as inundações ocorrem anualmente, sendo agravadas pela deficiência do saneamento básico e pelas ligações clandestinas. Por sua vez, os alagamentos estão associados, predominantemente, às fragilidades da infraestrutura de drenagem urbana, cuja capacidade é frequentemente insuficiente para promover o escoamento das águas pluviais, além da recorrente falta de manutenção e limpeza desse sistema (PMRR, 2025).

Partindo desta perspectiva, a pesquisa em questão tem por finalidade realizar um mapeamento das ameaças de inundações e alagamentos no município de Natal utilizando a Lógica Fuzzy e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) como instrumentos de análise de distribuição espacial e de locais de maior potencial de ameaça contribuindo para ações de monitoramento e de tomada de decisões.

METODOLOGIA

A metodologia proposta na presente pesquisa fundamentou-se nas pesquisas de Gohil, Mehta, Shaikh (2024) e Scaramussa (2023) e se dividiu em 6 etapas fundamentais. A primeira etapa se referiu à escolha dos indicadores para a modelagem, tanto em formato vetorial quanto matricial, sendo eles: áreas urbanas; hipsometria; áreas inundáveis do PDN, áreas de riscos do PMRR e lagoas. A segunda etapa consistiu na padronização dos indicadores quanto ao tipo de dado, de modo que todos os dados utilizados deveriam estar na forma de raster e serem dados contínuos no território. Assim sendo, os indicadores que estavam em formato shapefile foram convertidos em raster e na terceira etapa passaram pelo processamento de distâncias euclidianas no software QGIS (versão 3.40). Após a rasterização e o cálculo de distâncias foi realizada a fuzzificação por meio do plugin Geo Value Functions.

[1]) Afiliação: Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia PPGE/UFRN. E-mail: jeferson.g.geo@gmail.com
[2]) Afiliação: Docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia PPGE/UFRN. E-mail: lutianealmeida@hotmail.com
[3]) Afiliação: Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia PPGE/UFRN. E-mail: castrofd1988@gmail.com

Após a fuzzificação de todos os indicadores, por meio das funções de pertinência mais adequadas a cada variável, foi executada a etapa de álgebra de mapas utilizando a função Gamma (γ = 0,7), por meio da calculadora raster do QGIS. O cálculo foi efetuado conforme a expressão:

$$(1 - (1 - V1) * (1 - V2) * (1 - V3) * (1 - V4) * (1 - V5))^{0.7} * (V1 * V2 * V3 * V4 * V5)^{0.3} \quad (1)$$

Posteriormente, foi promovida a reclassificação por tabela utilizando o software QGIS. Para tanto, foram selecionados 5 intervalos que passaram a constituir classes de ameaças partindo de Muito Baixa a Muito Alta, como pode ser visto na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Intervalos e Classes de Ameaças utilizadas na Modelagem de Inundações e Alagamentos

Classe	Intervalo	Representação Coroplética
Muito Baixa	-1 à 0.20	
Baixa	0.20 à 0.40	
Média	0.40 à 0.60	
Alta	0.60 à 0.80	
Muito Alta	0.80 à 1	

RESULTADOS

Os resultados obtidos confirmam que o município de Natal/RN possui grande potencial de ameaça referente aos fenômenos hidrológicos como pode ser visto na Figura 1, principalmente em áreas próximas de lagoas urbanizadas como as lagoas da Zona-Norte, de modo mais expressivo nos bairros de Lagoa Azul, Pajuçara, Igapó e Nossa Senhora da Apresentação. Em relação ao bairro da Redinha, a maior contribuição à ameaça se atrela à ocupação irregular nas margens do Rio Doce. Convém ressaltar que, outros pontos da cidade, situados em outras zonas, merecem destaque, como os bairros da Cidade da Esperança e Nossa Senhora do Nazaré (Zona-Oeste), Tirol, Cidade Alta e Alecrim (Zona-Leste). Ressalta-se ainda que, as áreas identificadas na modelagem como de Muito Alta ameaça foram validadas por ocorrências da Defesa Civil de Natal com dados de 2017 à 2022.

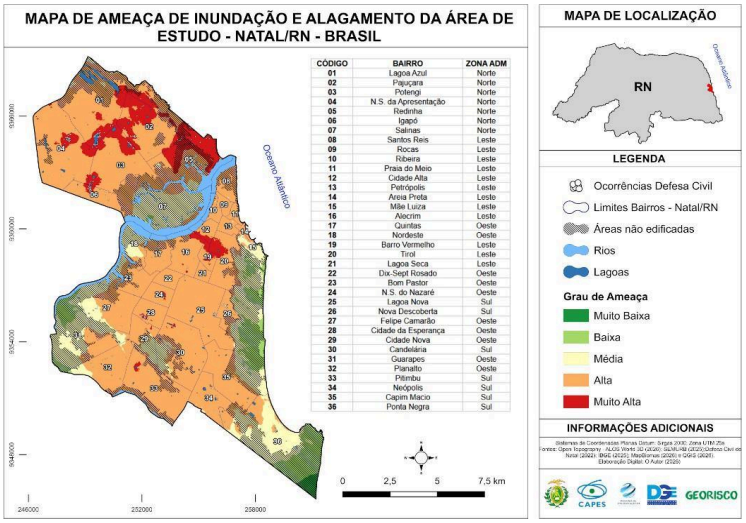
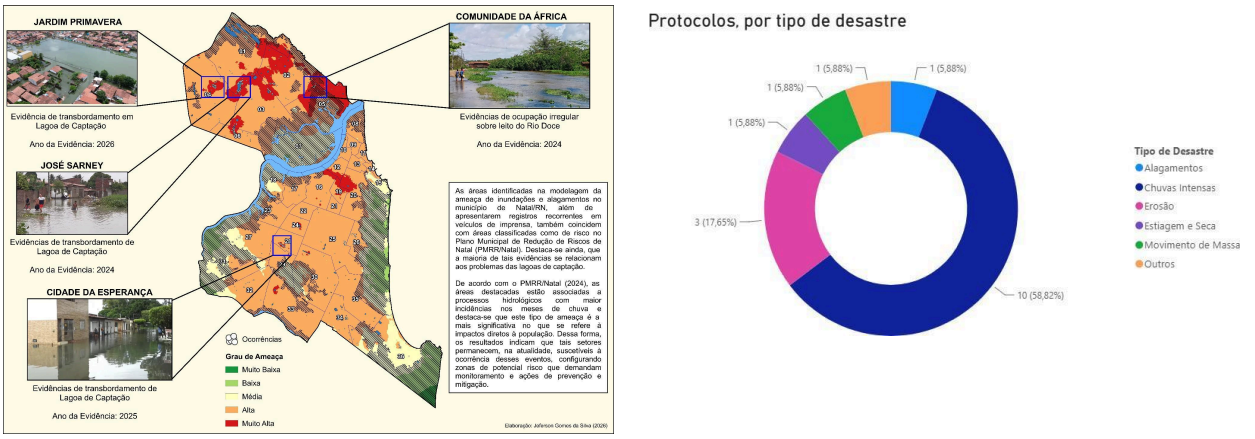


Figura 1. Mapa de Ameaça de Inundações/Alagamentos do Município de Natal/RN.

Além disso, foi realizada uma análise estatística do raster resultante da modelagem, onde os dados revelaram a distribuição espacial das classes de ameaças de inundações e alagamentos. Conforme a tabela 2, cerca de 64,85% da área de estudo apresenta um potencial Alto de suscetibilidade, fator muito importante que se reflete na recorrente divulgação de desastres hidrológicos ocorridos na cidade nos veículos de comunicação da imprensa como pode ser visualizado na figura 2A. Ademais, 8,23% da área foi classificada como sendo de Muito Alta ameaça, totalizando mais de 72% do território em situação de elevada exposição frente a esses perigos.

Tabela 2 – Distribuição Espacial dos Níveis de Ameaças de Inundações e Alagamentos

Classe	Nível de ameaça	Área (m²)	Percentual do raster (%)
1	Muito Baixa	846.200	0,50%
2	Baixa	10.761.000	6,41%
3	Média	34.154.400	20,33%
4	Alta	108.906.200	64,85%
5	Muito Alta	42.275.616	8,23%
Total	—	13.818.600	100,00%



2A **2B**

Figura 2A. Evidências e Validação da Modelagem de Ameaça de Inundações e Alagamentos. Fontes: G1RN (2024 e 2025), Agora RN (2025) e PMRR-Natal (2024); Figura 2B. Protocolos, por tipo de desastre no município de Natal/RN (1991 a 2025). Fontes: Atlas de Desastres do Brasil (2026).

Tais evidências também podem ser validadas por meio de dados públicos, como o Atlas de Desastres do Brasil que demonstra que os principais tipos de desastres desencadeados no município de Natal entre 1991 e 2025 foram referentes às chuvas intensas, aos alagamentos e às enxurradas, como pode ser visualizado na Figura 2B. Esses eventos são muito significativos no município, corroborando com os resultados da modelagem e os achados apresentados ao longo deste trabalho.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre os principais resultados da presente pesquisa, destaca-se que a modelagem baseada em Lógica Fuzzy e SIG pode ser considerada eficiente para identificar áreas com maior potencial de ocorrência de inundações e alagamentos em Natal/RN. Os resultados indicaram que cerca de 73% do território apresenta níveis Alto e Muito Alto de ameaça, com destaque para áreas próximas às lagoas urbanas e ao Rio Doce. A consistência da modelagem foi confirmada pela correspondência com registros da Defesa Civil, das publicações da imprensa e do Atlas de Desastres do Brasil. Como limitação, destaca-se a utilização de um conjunto básico de indicadores de bases de dados com diferentes datas de aquisição e escalas espaciais e a ausência de variáveis hidrológicas dinâmicas, como intensidade das chuvas e características da drenagem urbana, aspectos que poderão ser incorporados em estudos futuros, com o objetivo de ampliar a precisão dos resultados e subsidiar de forma ainda mais eficaz o planejamento urbano e a gestão de riscos de desastres.

REFERÊNCIAS

GOHIL, M; MEHTA, D.; SHAIKH, M. (2024). "*Integração de técnicas geoespaciais e de lógica fuzzy para mapeamento de múltiplos riscos*". Results in Engineering , v. 21, p. 101758.

PREFEITURA MUNICIPAL DO NATAL (RN) (2022). Lei Complementar nº 208, de 07 de março de 2022. Dispõe sobre o Plano Diretor do Município de Natal e dá outras providências. Diário Oficial doMunicípio, Natal, 08 mar. 2022. Disponível em: https://www.natal.rn.gov.br/semut/legislacao/complementar/complementar208_2022.pdf. Acesso em: 24 de jan de 2026.

PMRR-NATAL, Plano Municipal de Redução de Riscos de Natal/RN (2025). Relatório 02, Volume 1. Natal: PMRR-Natal, 2025b. Disponível em: https://pmrr.natal.rn.gov.br/assets/arquivos/2_RELATORIO_2_VOL_1_-_PMRR_-_NATAL.pdf. Acesso em: 10 jan. 2026.

SCARAMUSSA, L. M. *et al*. (2023). "*Vulnerabilidade ambiental no entorno do monumento natural do Itabira, ES, Brasil*" Revista Árvore, v. 47, p. e4725.

VEYRET, Yvette. (2007). *Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente*. São Paulo: Contexto, 319 p.