

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ANÁLISE DOS RISCOS GEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS EM ALAGOAS: CARACTERIZAÇÃO ESPACIAL, FATORES DETERMINANTES E CONSEQUÊNCIAS AMBIENTAIS E SOCIAIS

Giovanna Salomon de Andrade Souza¹; Alysson Matheus Pimentel de Moraes²; Matheus Henrique Olímpio dos Santos³; Wesley Douglas Oliveira Silva⁴ & Manoel Mariano Neto⁵

Abstract: The increasing frequency of geological and hydrological disasters in Alagoas, exacerbated by both natural and human factors, has significantly impacted the population and the environment, particularly in urban and coastal areas. This study aimed to analyze the geological and hydrological risks in the state, focusing on spatial characterization, determining factors, and environmental and social consequences. The analysis was based on the indices from the Climate Change Impact Information and Analysis System (AdaptaBrasil, 2020) and data from the 2022 Demographic Census. The results showed that 72.36% of the population is exposed to the highest risk levels, with greater vulnerability in the coastal and Zona da Mata regions. Unplanned urbanization and intense rainfall exacerbate the impacts, while the Sertão region faces risks of drought and desertification. It is concluded that implementing effective urban planning and climate adaptation policies is essential to mitigate the damage caused by natural disasters, prioritizing preventive actions and infrastructure improvements in the most vulnerable areas.

Resumo: O aumento da frequência de desastres geológicos e hidrológicos em Alagoas, exacerbado por fatores naturais e humanos, tem impactado significativamente a população e o meio ambiente, especialmente nas áreas urbanas e costeiras. Este estudo teve como objetivo analisar os riscos geológicos e hidrológicos no Estado, com ênfase na caracterização espacial, fatores determinantes e consequências ambientais e sociais. A análise foi conduzida com base nos índices do Sistema de Informações e Análises sobre Impactos das Mudanças Climáticas (AdaptaBrasil, 2020) e dados do Censo Demográfico de 2022. Os resultados mostraram que 72,36% da população está exposta aos maiores níveis de risco, com maior vulnerabilidade nas regiões costeiras e da Zona da Mata. A ocupação desordenada e as intensas precipitações pluviais agravam os impactos, enquanto o Sertão enfrenta riscos de seca e desertificação. Conclui-se que é essencial implementar um planejamento urbano eficaz e políticas de adaptação climática para mitigar os danos causados por desastres naturais, priorizando ações preventivas e melhorias na infraestrutura nas áreas mais vulneráveis.

Palavras-Chave – Desastres naturais; mudanças climáticas; gestão de riscos.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm desempenhado um papel central na intensificação dos impactos causados por eventos climáticos extremos (IPCC, 2014). Episódios como inundações e deslizamentos de terra tornaram-se mais frequentes e severos, comprometendo não apenas as condições físicas do

1) Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, AL, Brasil, e-mail: giovanna.souza@ctec.ufal.br

2) Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, AL, Brasil, e-mail: alysson.moraes@ctec.ufal.br

3) Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, AL, Brasil, e-mail: matheus.olimpio@ctec.ufal.br

4) Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, AL, Brasil, e-mail: wesley.silva@ceca.ufal.br

5) Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, AL, Brasil, e-mail: manoel.mariano@ctec.ufal.br

território, mas também as estruturas sociais, afetando vidas humanas, propriedades, serviços essenciais e recursos ambientais (Carvalho, 2013).

A intensificação desses eventos está diretamente relacionada à alteração nos padrões climáticos, que tem elevado tanto a frequência quanto a magnitude dos desastres de natureza geológica e hidrológica (Sati, 2019). Esse panorama torna-se ainda mais crítico quando associado ao crescimento populacional em áreas de risco, o que amplia substancialmente os danos potenciais (Petrucci et al., 2013; Dewitte et al., 2024).

No contexto teórico, Almeida (2014) destaca o risco como um conceito multidimensional, com forte carga simbólica e operacional, sendo capaz de representar incertezas associadas a desvios de situações de referência, justificar decisões diante de ameaças potenciais, e fomentar medidas de proteção a pessoas e bens. Avaliar o risco, portanto, exige a consideração conjunta de três elementos fundamentais: perigo, exposição e vulnerabilidade.

No entanto, esses componentes apresentam complexidades quanto à sua definição e quantificação (UNDRR, 2022), o que reforça a necessidade do uso de indicadores capazes de representar essas dimensões de forma sistematizada. Os indicadores de risco, nesse sentido, funcionam como ferramentas estratégicas para a construção de cenários futuros e para o planejamento de ações preventivas (Santos, 2009).

Adicionalmente, evidências apontam que os riscos geológicos e hidrológicos estão fortemente associados às intervenções humanas no meio físico, podendo ser tanto fatores de disparo quanto de agravamento desses eventos. A esse respeito, Zhang et al. (2015) observam que a interação entre chuvas intensas e atividades antrópicas desestabiliza mecanicamente as encostas, gerando deslizamentos de terra e ampliando significativamente os riscos envolvidos.

A escolha da área de estudo foi motivada pela escassez de dados relacionados aos riscos geológicos e hidrológicos e pela marcada variabilidade climática identificada por Marengo (2009). O Estado de Alagoas apresenta uma expressiva parcela da população em situação de vulnerabilidade, e ocupa a 26ª posição no ranking nacional do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), conforme dados do IBGE (2022). Além disso, a ausência de políticas urbanas eficazes e a persistente exclusão social mantêm os grupos mais pobres expostos aos efeitos dos desastres (Spink, 2014).

Nesse contexto, o controle dos riscos por meio de estratégias de gestão, avaliação, mitigação e tratamento torna-se essencial para a construção de uma governança territorial eficaz (Almeida, 2014). Assim, o presente estudo tem como objetivo analisar os riscos geológicos e hidrológicos no Estado de Alagoas, por meio da caracterização espacial baseada em índices e indicadores disponibilizados pelo Sistema de Informações e Análises sobre Impactos das Mudanças do Clima (Adapta Brasil, 2020). Esta plataforma visa consolidar, integrar e difundir dados estratégicos para apoiar a formulação de políticas públicas e ações de adaptação climática no Brasil.

Dessa forma, espera-se que os resultados deste trabalho contribuam para subsidiar a atuação de órgãos governamentais na formulação de estratégias eficazes de gestão de riscos e desastres, permitindo a antecipação de medidas diante de eventos climáticos extremos.

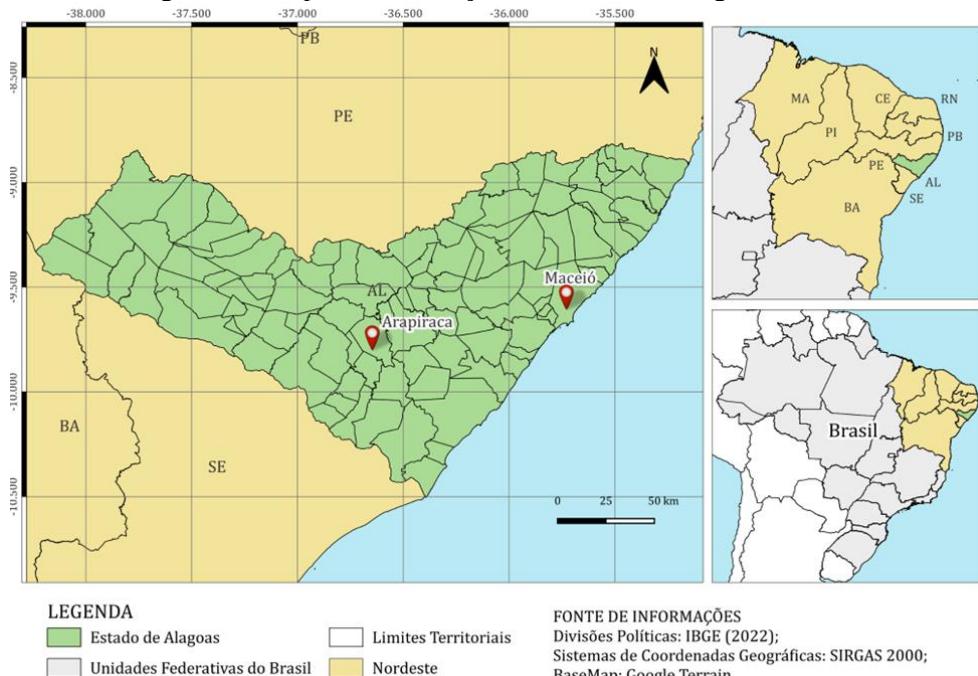
METODOLOGIA

Este estudo se concentra no Estado de Alagoas, localizado na região Nordeste do Brasil, com uma população estimada em 3,2 milhões de habitantes, distribuídos em 102 municípios. O Estado possui uma área territorial de 27.830,661 km² (IBGE, 2022).

De acordo com a Embrapa (2012), o regime de chuvas no Estado de Alagoas é influenciado pelas condições de circulação atmosférica. A localização próxima à linha do Equador resulta em longos períodos de incidência solar e elevados níveis de evapotranspiração, o que contribui para uma

significativa irregularidade na distribuição das precipitações pluviométricas no Estado. A Figura 1 ilustra a localização e a divisão do espaço geográfico de Alagoas.

Figura 1 – Mapa de localização do Estado de Alagoas - Brasil



Foram utilizados os índices disponibilizados pelo Sistema de Informações e Análises sobre Impactos das Mudanças Climáticas (AdaptaBrasil, 2020), a fim de caracterizar de maneira independente os riscos hidrológicos e geológicos. O sistema adota uma escala de 0 a 1, dividida em cinco intervalos, permitindo a classificação dos municípios nas categorias: Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto, conforme detalhado na Tabela 01.

Tabela 1 - Classificação dos índices.

Classes	Valores do índice
Muito alto	0,80 – 1,00
Alto	0,60 – 0,79
Médio	0,40 – 0,59
Baixo	0,20 – 0,39
Muito baixo	0,00 – 0,19

Fonte: AdaptaBrasil (2020)

Os índices de risco, tanto para inundações, enxurradas e alagamentos, quanto para deslizamentos de terra, são elaborados a partir de três dimensões fundamentais: vulnerabilidade, exposição e ameaça (AdaptaBrasil, 2020).

Para a caracterização dos riscos geológicos e hidrológicos no Estado de Alagoas, foi considerada a distribuição populacional associada a cada classe de risco. Os dados empregados foram extraídos do último Censo Demográfico (IBGE, 2022). Inicialmente, os dados foram processados utilizando o software Microsoft Excel 365, e, posteriormente, a espacialização das informações foi realizada no software de código aberto QGIS, versão 3.32.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Riscos Geológicos

Os riscos relacionados aos desastres de origem geológica estão representados na Figura 2. Entre os 102 municípios do Estado, 21 são classificados como de risco alto e 8 como de risco muito alto, abrigando, em conjunto, mais de 57% da população (Figura 3). A maior concentração de risco está localizada na região nordeste do Estado, bem como nas áreas adjacentes ao litoral.

Figura 2 - Classificação das áreas sujeitas à ocorrência de deslizamento de terra

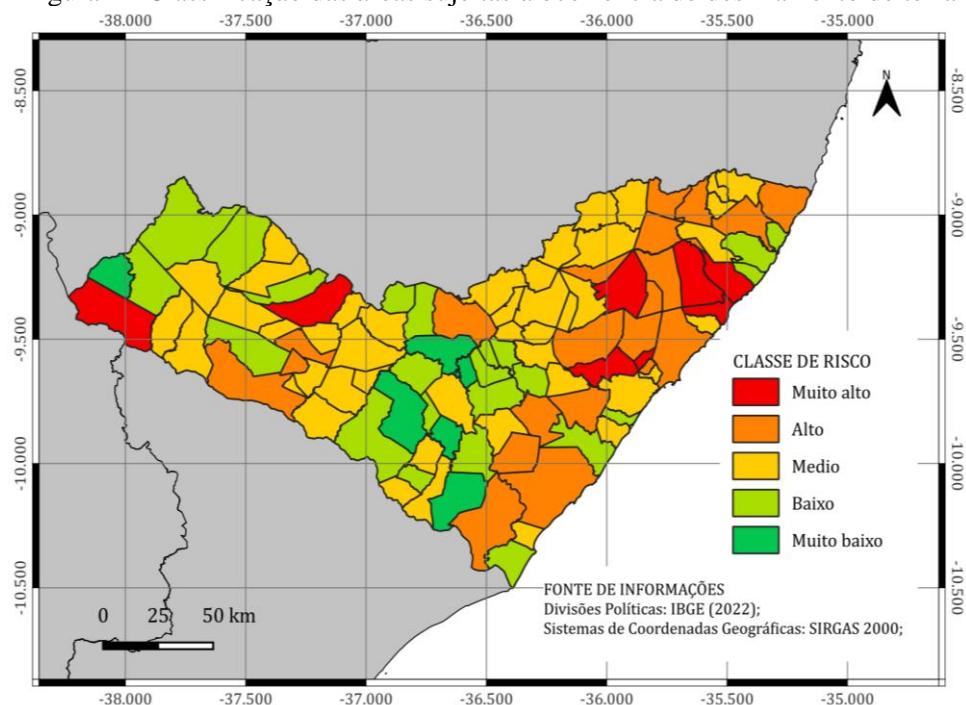
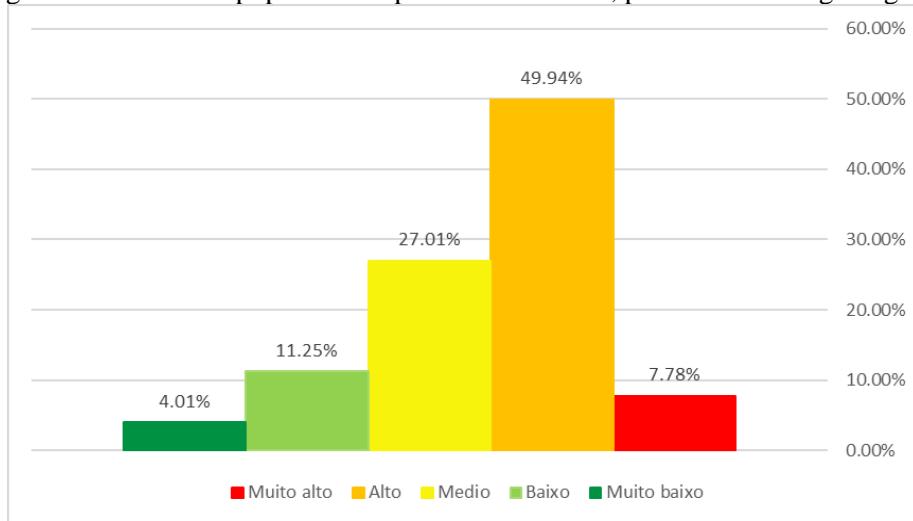


Figura 3 - Percentual populacional por classe de risco, para fenômenos geológicos



Em Alagoas, a ocupação desordenada do solo, especialmente nas áreas urbanas e de encostas, tem contribuído significativamente para a amplificação dos riscos geológicos. A expansão irregular das cidades, sem considerar as características físicas do território, tem favorecido a ocupação de áreas

altamente suscetíveis a deslizamentos de terra. Segundo o CEMADEN (2022), a combinação de declividade acentuada, chuvas intensas e ocupação inadequada agrava a instabilidade do solo, tornando essas regiões ainda mais vulneráveis a desastres naturais.

A Zona da Mata alagoana, em particular, é caracterizada por eventos frequentes de chuvas intensas, que resultam em deslizamentos e escorregamentos, especialmente nas encostas ocupadas de forma irregular. A falta de planejamento urbano e a escassez de infraestrutura adequada agravam a vulnerabilidade da população local. Rosal e Montenegro (2010) apontam que a Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, que abrange grande parte da Zona da Mata, possui um histórico significativo de enchentes severas, causadas por precipitações extremas, revelando o alto risco hidrometeorológico enfrentado pela região.

A precipitação é um fator determinante para a configuração dos riscos naturais em Alagoas, apresentando grande variabilidade espacial. De acordo com Pereira et al. (2012), o Leste alagoano é a região mais chuvosa do Estado, devido à influência das massas de ar úmido provenientes do Atlântico. Em contraste, o Sertão é a área com menor pluviosidade, marcada por secas prolongadas e alta irregularidade nas chuvas. Essa disparidade acentua os riscos de deslizamentos e enchentes no litoral e na Zona da Mata, enquanto o interior sofre com os efeitos da escassez hídrica.

Entretanto, compreender os processos de deflagração dos desastres geológicos e sua relação com as chuvas não é suficiente para a construção de limiares de alerta adequados. A introdução de variáveis antrópicas torna a análise ainda mais complexa, conforme destaca o CEMADEN (2022). Nesse sentido, a caracterização do uso do solo e das condições de vulnerabilidade social é fundamental para aprimorar os sistemas de alerta e gestão de riscos.

O Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), elaborado pelo IPEA (2024), é um importante indicador, que leva em consideração fatores como infraestrutura, capital humano e condições socioeconômicas. Em 2010, 61,77% dos municípios de Alagoas apresentaram níveis elevados de vulnerabilidade, com destaque para cidades como Barra de Santo Antônio, Murici, São Luís do Quitunde e Passo de Camaragibe, que também se encontram em áreas de alto risco geológico.

A relação entre o número de municípios e a população afetada, apresentada na Tabela 2, revela que o fator demográfico exerce grande influência na avaliação do risco. A distribuição não-uniforme da população, com concentração em áreas mais vulneráveis, amplia o impacto dos desastres naturais, tornando a gestão do risco ainda mais desafiadora.

Tabela 2 - Resumo da caracterização para fenômenos geológicos

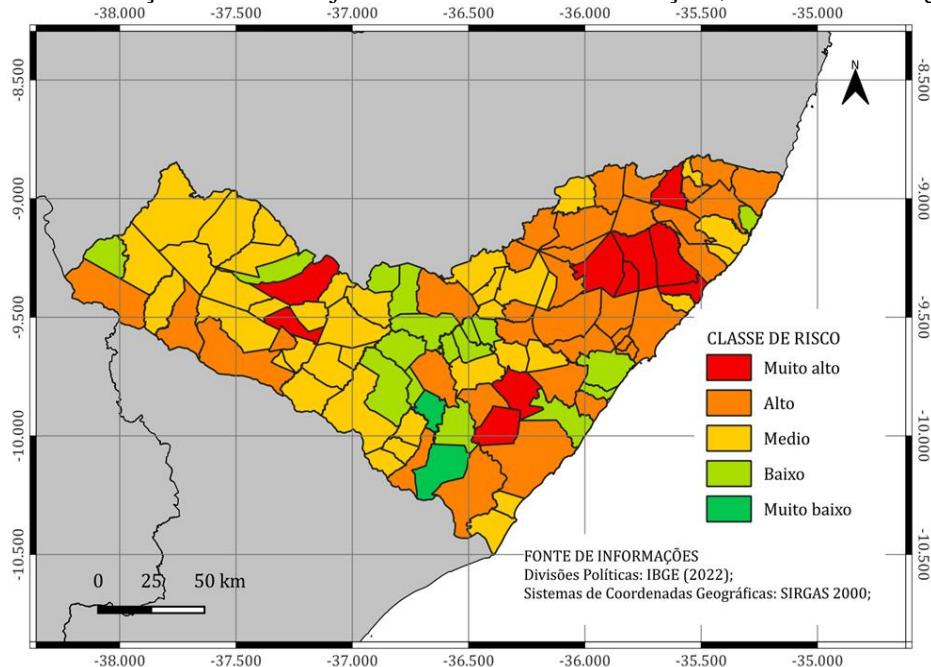
Classe de risco	Quantidade de municípios	Percentual de municípios	População	Percentual de população
Muito alto	08	7,84%	243.415	7,78%
Alto	21	20,59%	1.561.980	49,94%
Médio	44	43,14%	844.808	27,01%
Baixo	23	22,55%	351.916	11,25%
Muito baixo	06	5,88%	125.564	4,01%

Riscos Hidrológicos

O panorama dos desastres de origem hidrológica é representado na Figura 4. Observa-se que os municípios localizados no Litoral e na Zona da Mata apresentam níveis de risco mais elevados. Ao

comparar as Figuras 2 e 4, fica evidente que o risco associado aos fenômenos hidrológicos abrange uma área mais ampla do Estado.

Figura 4 - Classificação das áreas sujeitas à ocorrência de inundações, enxurradas e alagamentos



A precipitação desempenha um papel crucial na configuração climática de Alagoas, sendo um dos principais fatores determinantes para os padrões de risco. Aproximadamente 50% do território do Estado apresenta características de clima semiárido, com grande irregularidade na distribuição das chuvas. O leste alagoano é predominantemente tropical, com índices pluviométricos anuais variando entre 1.000 mm e 1.500 mm, enquanto o sertão e a região ocidental, com clima semiárido, recebem precipitações entre 400 mm e 600 mm (EMBRAPA, 2012). Essa variabilidade na precipitação contribui diretamente para a formação de diferentes cenários de risco em todo o Estado.

As regiões do leste de Alagoas são particularmente suscetíveis a riscos hidrológicos. A combinação de altas taxas de declividade com chuvas intensas resulta em escoamento superficial rápido, propenso à formação de enxurradas e aumento abrupto dos níveis dos rios. Lima Júnior et al. (2012) destacam que a declividade média dos cursos d'água influencia diretamente a velocidade do fluxo, intensificando o transporte de sedimentos, ampliando a erosão e exacerbando os impactos de eventos extremos nas áreas ribeirinhas.

Nesse contexto, Ahn e Marques (2018) sugerem que um planejamento adequado para o crescimento e a ocupação das áreas urbanas pode ser uma estratégia fundamental para mitigar, a longo prazo, os impactos dos riscos hidrológicos. A adoção de um uso racional do solo, aliado a um planejamento territorial técnico e ambientalmente fundamentado, é essencial para prevenir desastres e reduzir a vulnerabilidade da população.

Por fim, a Figura 5 e a Tabela 3 apresentam uma análise detalhada dos percentuais populacionais em diferentes classes de risco, proporcionando uma visão abrangente sobre a distribuição de vulnerabilidades no Estado.

Figura 5 - Percentual populacional por classe de risco, para fenômenos hidrológicos

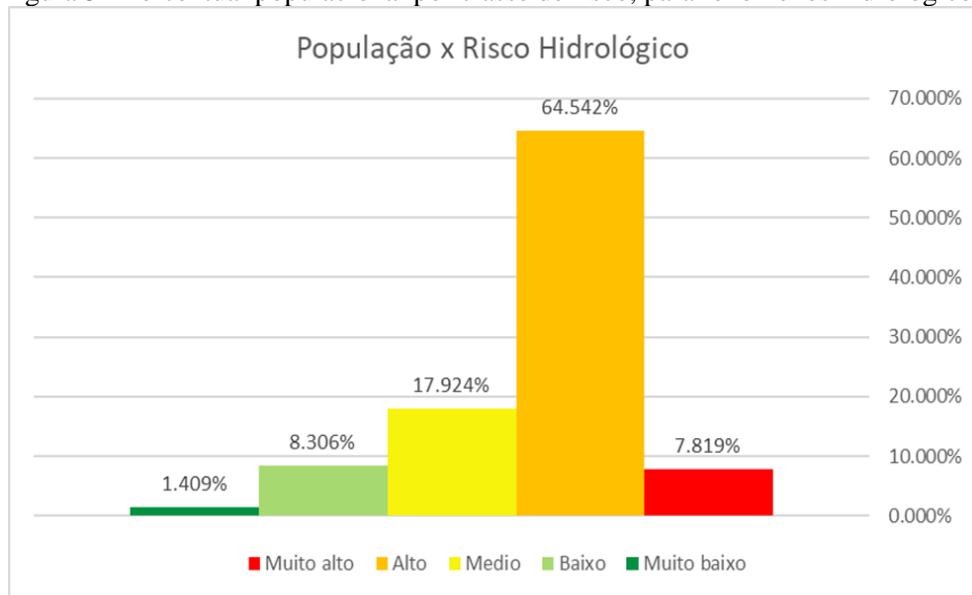


Tabela 3 - Resumo da caracterização para fenômenos hidrológicos.

Classe de risco	Quantidade de municípios	Percentual de municípios	População	Percentual de população
Muito alto	10	9,80%	244.542	7,82%
Alto	35	34,31%	2.018.665	64,54%
Médio	38	37,25%	560.618	17,92%
Baixo	17	16,67%	259.774	8,31%
Muito baixo	02	1,96%	44.084	1,41%

Observa-se que 72,36% da população de Alagoas, distribuída por 45 municípios, encontra-se nas duas maiores classes de risco. De acordo com a forma como os dados foram processados pelo Adapta Brasil, esse cenário reflete uma realidade de exposição, caracterizada pela combinação de moradias situadas em áreas de risco e uma alta densidade demográfica.

Os episódios de inundação, especialmente nas áreas urbanas, são frequentes, sobretudo quando essas regiões apresentam ocupação desordenada em planícies de inundação (CEPED, 2013). Em Alagoas, conforme dados do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD), entre 2004 e 2011, foram registradas 76 ocorrências de enxurradas e inundações, com decretos de Situação de Emergência (SE) ou Estado de Calamidade Pública (ECP).

Entre 2009 e 2011, algumas cidades com níveis de risco hidrológico muito alto emitiram alertas, como Messias, Murici, Novo Lino, Santana do Ipanema e São Luís do Quitunde. Entretanto, é importante destacar que outras cidades, como Teotônio Vilela, Barra de Santo Antônio, Olho d'Água das Flores, Campo Alegre e Flexeiras, que também se encontram no nível mais alto de risco, não registraram ocorrências nesse período (S2iD MIDR, 2024). Assim, é relevante ressaltar que o índice de risco hidrológico abrange não apenas enxurradas e inundações, mas também alagamentos.

CONCLUSÃO

A análise dos riscos geológicos e hidrológicos no Estado de Alagoas, evidenciou que uma parcela significativa da população reside em áreas classificadas como de alto e muito alto risco. A espacialização dos dados revelou que os municípios localizados no litoral e na Zona da Mata

concentram os maiores percentuais populacionais expostos, enquanto o Sertão apresenta menor risco hidrológico, mas suscetibilidade à escassez hídrica.

Embora existam indícios de sobreposição entre áreas de maior risco e municípios com indicadores socioeconômicos menos favoráveis, este estudo não realizou análises estatísticas que permitam estabelecer relações causais. Portanto, os padrões observados devem ser compreendidos como correlações espaciais preliminares.

Ressalta-se a importância de estudos futuros que aprofundem a relação entre uso e ocupação do solo, infraestrutura urbana e ocorrência de desastres, de forma a orientar políticas públicas baseadas em evidências. A contribuição deste trabalho reside na sistematização de informações espaciais integradas sobre riscos e população, oferecendo subsídios para ações de planejamento e gestão de riscos em Alagoas.

REFERÊNCIAS

- ADAPTA BRASIL. (2024). Sobre o AdptaBrasil. Disponível em: <https://adaptabrasil.mcti.gov.br/sobre>. Acesso em: 15 fev. 2024.
- AWN, B. S. V.; MARQUES, G. F. (2018). *“Importância de explorar medidas de adaptação e mitigação na redução dos danos causados pelas inundações”*. in Anais do I Encontro Nacional de Desastres, Porto Alegre, Jul. 2018, 1.
- ALMEIDA, A. B. (2014). Gestão do risco e da incerteza, conceitos e filosofia subjacente. *in: AUTOR. Realidades e Desafios na Gestão dos Riscos. Diálogos entre Ciência e Utilizadores*. Coimbra: NCIF, 2014. pp. 19-22.
- AMORIM, R. C. F. de; RIBEIRO, A.; LEITE, C. C.; LEAL, B. G.; SILVA, J. B. G. (2008). *“Avaliação do desempenho de dois métodos de espacialização da precipitação pluvial para o Estado de Alagoas”*. Acta Sci. Technol., Maringá, v. 30, n. 1, p. 87-91.
- BRASIL. Ministério da Integração e Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. (2024). Sistema Integrado de Informações sobre Desastres. Brasília: MIDR.
- CARVALHO, D. W. (2013). *“As mudanças climáticas e a formação do direito dos desastres”*. Novos Estudos Jurídicos, pp. 397-415.
- DEWITTE, O. et al. (2024) *“Raising awareness to geo-hydrological hazard risks in African countries: A guide booklet for stakeholders, policy makers and the public at large”*. EGU General Assembly 2024, pp. 14-19.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2012). Boletim de pesquisa e desenvolvimento: Climatologia do Estado de Alagoas. 2. Ed. Recife: Embrapa Solos.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2022). *“Área territorial brasileira 2022”*. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/al.html>. Acesso em: 25 fev.
- IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS. (2014) Alterações Climáticas 2014: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade. Genebra, Suíça: Organização Meteorológica Mundial (WMO).
- IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. (2024). Índice de vulnerabilidade social. Disponível em: <https://ivs.ipea.gov.br/#/>. Acesso em: 05 set. 2024.

- LIMA JÚNIOR, J. C.; VIEIRA, W. L.; MACÊDO, K. G.; SOUZA, S. A.; NASCIMENTO, F. A. L. (2012). “Determinação Das Características Mofométricas Da Sub-Bacia Do Riacho Madeira Cortada, Quixelô, CE”. In Anais do IV Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação.
- MARENGO, J. A. (2009). “Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil. In: *Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil*”. LLOYD’S pp. 4-19.
- PEREIRA, E. R. R.; FREITAS, J. C.; ANDRADE, A. R. S.; MACEDO, M. L. A.; SILVA NETO, M. F. (2012). “Variabilidade do número de dias de chuva no estado de Alagoas”. Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias, Guarapuava-PR, v.5, n.1, pp.7-26.
- PETRUCCI, O.; PASQUA, A. A.; POLEMIO, M. (2013). “Impact of Damaging Geo-Hydrological Events and Population Development in Calabria, Southern Italy”. Water, pp. 1780–1796.
- ROSAL, M. C. F & MONTENEGRO, S. M. G. L. (2010). “Estudo da Distribuição de Probabilidade para precipitações máximas na Bacia do Rio Mundaú”. In: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió – AL. 27 de novembro a 01 de dezembro de 2010.
- SANTOS, R. F. dos. Planejamento ambiental: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos. 2009.
- SATI, V. P. (2019). “Increasing Events of Disasters. In: *Himalaya on the Threshold of Change . Advances in Global Change Research*. Springer Nature, pp. 79–99.
- SPINK, M. J. (2014). “Viver em áreas de risco: tensões entre gestão de desastres ambientais e os sentidos de risco no cotidiano”. Ciência & Saúde Coletiva, pp. 3743-3754
- UNDRR - UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER REDUCTION. Global assessment report on disaster risk reduction. ONU, 2022.
- ZHANG, Z.; HU, S.; GAO, Q.; LU, Z.; SONG, H.; MA, Y. (2016). “Occurrence Mechanism of Qingshan Landslide Geological Disasters and Its Risk in Laoshan Area”. Soil and Water Conservation, pp. 52-58.