

CHUVAS EXTREMAS ASSOCIADAS AO CRESCIMENTO URBANO COMO FATORES DETERMINANTES PARA OCORRÊNCIAS DE ALAGAMENTOS NA CAPITAL DO ESTADO DE SERGIPE

Ayla Maria Dias Monteiro¹; Walmir Souza Vasconcelos²; Carlos Alexandre Borges Garcia³; Maria Nogueira Marques⁴; Silvânia Silvério Lopes da Costa⁵; Ariovaldo Antonio Tadeu Lucas⁶ & Marcus Aurélio Soares Cruz⁷

RESUMO

O crescimento urbano desordenado nas maioria das capitais brasileiras tem propiciado diversos cenários de riscos provocados, dentre outros, por fatores de ordem climática. Em Aracaju, capital do estado de Sergipe, nordeste do Brasil, esta vem sendo uma realidade comum, assim como em outros municípios brasileiros que estão sendo atingidos pelos eventos de chuvas extremas. Esse trabalho tem como objetivo relacionar a ocorrência de altas precipitações com inundações e alagamentos na área urbana aracajuana. Para isso, será utilizado dados históricos coletados junto à estação meteorológica oficial do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no período de 10 anos (2015 a 2024). Utilizou-se o método proposto por Thornthwaite (1948) para análise do balanço hídrico, considerando uma capacidade de armazenamento de água no solo (CAD) de 100 mm, identificando o excedente hídrico entre os meses de abril a julho. Períodos bem definidos, considerando os mais secos de setembro a março e mais chuvoso de abril a agosto. No acumulado, os anos de 2015 e de 2019 a 2024 registraram mais de 1.200 mm de precipitação. Foram registrados 81 eventos de chuva extrema, sendo 53% nos meses de abril a junho. Foi possível associar a ocorrência de eventos de chuvas extremas de acordo com a sazonalidade observando o aumento de registros de alagamentos nos períodos de maior precipitação. Com períodos chuvosos bem definidos, possibilita a previsão de danos gerados por esses eventos de forma a provocar os gestores e órgãos responsáveis para adoção de medidas preventivas e tratativas que minimizem os impactos e estragos causados na cidade de Aracaju.

Palavras chaves: Chuvas extremas, Aracaju, Alagamentos

¹ Doutoranda do curso de Pós-graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n, São Cristóvão-SE, 79 3194-6378, ayla.dias@gmail.com

² Doutorando do curso de Pós-graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n, São Cristóvão-SE, 79 3194-6378, walmirsv@hotmail.com

³ Docente do curso de Pós-graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n, São Cristóvão - SE, 79 3194-6378, carlosabgarcia@gmail.com

⁴ Pesquisadora do Instituto de Tecnologia e Pesquisa da Universidade Tiradentes, Av. Murilo Dantas, 300, Aracaju - SE, 79 3198-8811, mmarque63@gmail.com

⁵ Docente do curso de Pós-graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n, São Cristóvão - SE, 79 3194-6378, silvanio@academico.ufs.br

⁶ Docente do curso de Pós-graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n, São Cristóvão - SE, 79 3194-6378, aatlucas@academico.ufs.br

⁷ Docente do curso de Pós-graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n, São Cristóvão - SE, 79 3194-6378, marcus.cruz@embrapa.br

ABSTRACT

The disorderly urban growth in most Brazilian capitals has led to several risk scenarios caused by, among others, climatic factors. In Aracaju, capital of the state of Sergipe, northeastern Brazil, this has been a common reality, as well as in other Brazilian municipalities that are being hit by extreme rainfall events. This study aims to relate the occurrence of high rainfall with flooding in the urban area of Aracaju. For this, historical data collected from the official meteorological station of the National Institute of Meteorology (INMET) will be used, over a period of 10 years (2015 to 2024). The method proposed by Thornthwaite (1948) was used to analyze the water balance, considering a soil water storage capacity (SWC) of 100 mm, identifying the water surplus between the months of April and July. Well-defined periods, considering the driest from September to March and the雨iest from April to August. In total, the years 2015 and 2019 to 2024 recorded more than 1,200 mm of precipitation. There were 81 extreme rainfall events, 53% of which occurred in the months of April to June. It was possible to associate the occurrence of extreme rainfall events according to seasonality, observing the increase in flooding records during periods of greater precipitation. With well-defined rainy periods, it is possible to predict the damage caused by these events in order to prompt managers and responsible agencies to adopt preventive and treatment measures that minimize the impacts and damage caused in the city of Aracaju.

Keywords: Extreme rains, Aracaju, Floods

INTRODUÇÃO

Inundações e alagamentos têm sido cada vez mais frequentes no Brasil, o que se deve às chuvas extremas associadas as transformações do meio urbano, especialmente a impermeabilização do solo, bem como a falta de sistemas de drenagem eficientes a proximidade de cidades situadas próximo a corpos hídricos, Guitarrara (2025). Diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela necessidade de uma gestão eficiente, a água é um tema que representa enfoque central para o desenvolvimento sustentável, a segurança hídrica e a qualidade de vida, reforçando sua relevância como recurso essencial para economia e meio ambiente, Chueiri *et al.* (2025).

Dados do último Censo (2022) apontam um crescimento demográfico de 5,3 % em Aracaju, onde a capital registrou população de 628.849 pessoas e densidade populacional é de 3.308,89 hab/km², com o 3º maior crescimento populacional no Nordeste. Além disso, registrou 169.493 domicílios. A injeção de recursos oriundos do Governo Federal, especialmente com o Programa Minha Casa Minha Vida e o Programa de Aceleração do Crescimento contribuem para o aumento de moradias se deve à ação representativa do mercado imobiliário nas últimas décadas. De acordo com o Observatório das Metrópoles (2023), em Aracaju, entre 2000 e 2020 foram construídas aproximadamente 163 mil novas moradias, 23% dos domicílios de 2022.

A capital sergipana, Aracaju (Figura 1), constitui o maior centro urbano do Estado e a pressão sobre o solo e os cursos d'água são mais intensos. Seus maiores tensores antrópicos são decorrentes da disputa de interesses que giram em torno do lançamento de efluentes, ocupações de Áreas de Preservação Permanente e supressão de matas ciliares.

O clima urbano, portanto, possibilita o estudo do clima a partir da interação entre a cidade/fenômeno urbano e as variáveis atmosféricas/climáticas, integrando as anomalias que possam surgir a partir de projetos de urbanismo inadequado ao ambiente em que está inserida a cidade, como pontuam Cardoso e Amorim (2016).

Nas últimas duas décadas (2000-2020), no município de Aracaju/SE, a intensificação de projetos urbanísticos acompanhada de uma rede de drenagem insuficiente para o acumulado de chuvas tem favorecido a existência de cenários de alagamentos e de inundações pela malha urbana. Esta realidade referente aos eventos climáticos, evidencia a necessidade de melhoria na gestão pública no ambiente urbano em relação à prevenção de riscos enfrentados pela sociedade, Duarte (2021).

Diante do exposto, o objetivo deste artigo é analisar os eventos de chuvas extremas na capital do estado de Sergipe (situada no Nordeste brasileiro), considerando a série histórica de dados de precipitação de 2015 a 2024 e como estes eventos associados ao crescimento urbano têm desencadeado riscos de alagamentos e cenários de inundações.

Figura 1: Município de Aracaju, Sergipe, Nordeste, Brasil.



Fonte: SECOM, 2024.

MATERIAIS E MÉTODOS

O município de Aracaju abrange uma área de 182,163km², localizado no Território da Grande Aracaju e mesorregião do Leste Sergipano, compreendido entre as coordenadas geográficas 10°55'56" de latitude Sul e 37°04'23" de longitude Oeste (Figura 2). Limita-se ao norte com o rio do Sal que o separa do município de Nossa Senhora do Socorro; na extremidade sul limita-se com o rio Vaza Barris; a oeste, com os municípios de São Cristóvão e Nossa Senhora do Socorro e a Leste com o rio Sergipe e Oceano Atlântico, ARACAJU (2019).

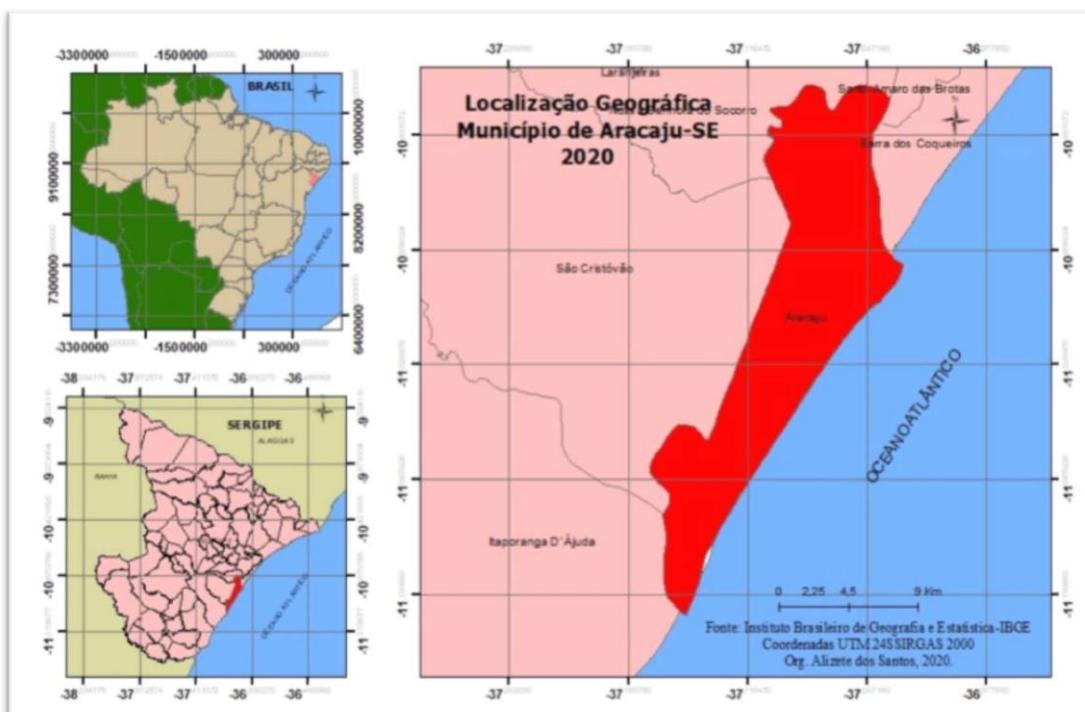
A base de informações sobre a precipitação em escala diária correspondentes ao período de 2015 a 2024 foi obtida no portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a partir dos dados coletados na estação meteorológica localizada no aeroporto de Aracaju/SE. A metodologia

fundamentou-se em um levantamento de dados junto aos órgãos competentes, registros fotográficos e de jornais, a fim de identificar registros de ocorrências atreladas às chuvas extremas e desenvolvimento urbano na cidade de Aracaju/SE.

Também foi utilizada a ferramenta do Excel, para gerar tabelas e gráficos com a finalidade de gerar informações detalhadas sobre as características das chuvas. Os registros referentes a inundações e alagamentos foram extraídos na plataforma virtual da Defesa Civil Municipal de Aracaju. Será feita de uma análise quali-quantitativa, relacionando o clima urbano, associado aos eventos de chuvas extremas, riscos e consequências.

Para o cálculo do balanço hídrico foi utilizado o método proposto por Thornthwaite e Mather (1955), utilizando o software desenvolvido em planilhas eletrônicas no Excel por Rolim e Sentelhas (1999). Utilizou-se dados normais de temperatura e precipitação para o período de 2015 a 2024 e da capacidade de armazenamento de água (CAD) no solo de 100 mm obtidos através do Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária (SISDAGRO) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Figura 2 - Mapa de localização do município de Aracaju, Sergipe.

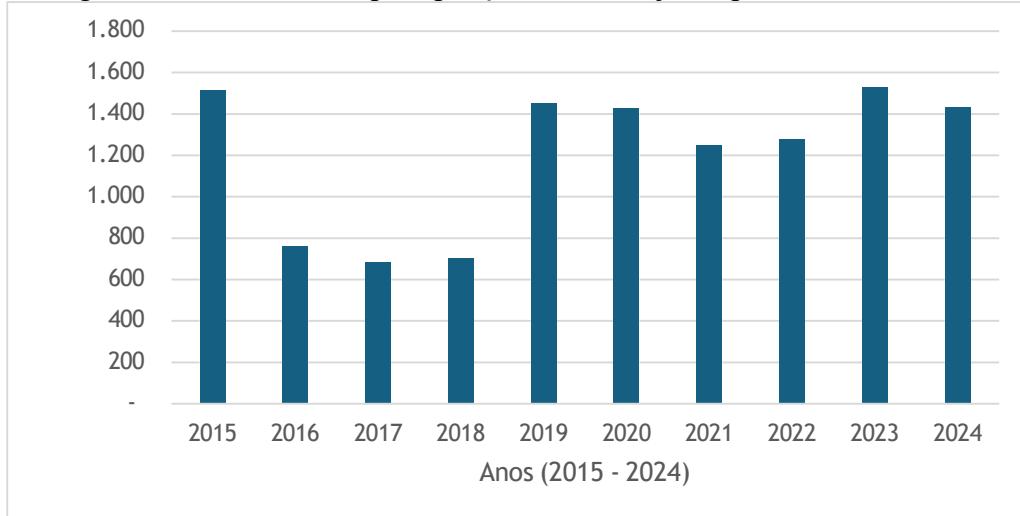


Fonte: IBGE (2000). Elaboração: Alizete dos Santos (2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme dados coletados, a Figura 3 pontua o acumulado anual das chuvas ao longo da série de dados analisada e mostra que os anos mais chuvosos atingiram, em média, índices superiores a 1.200 mm, com destaque para 2015, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 e 2024.

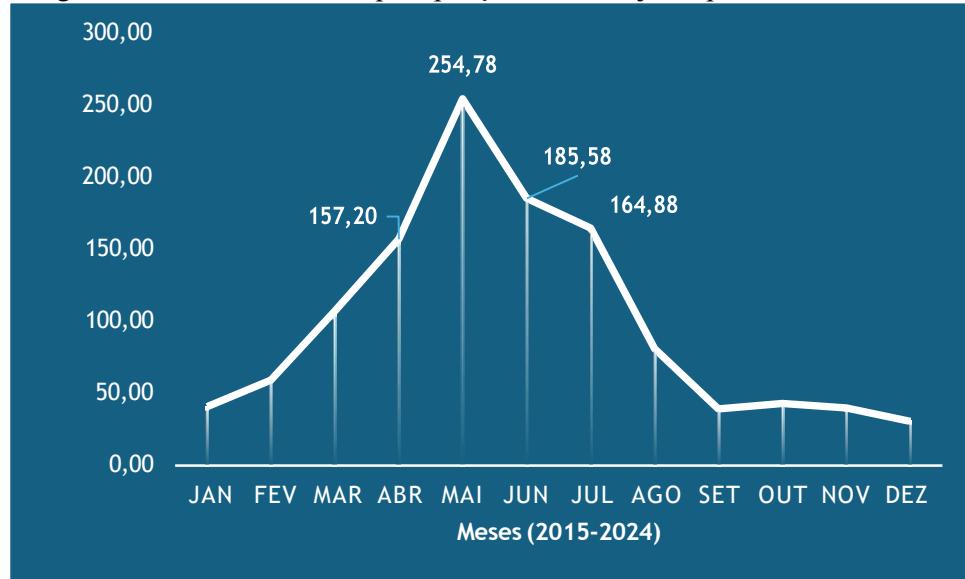
Figura 3: Acumulado de precipitação em Aracaju no período 2015-2024.



Fonte: INMET. Elaboração: Autoria própria, 2025.

Com relação às médias mensais ao longo dos últimos 10 anos, os maiores índices estão compreendidos entre os meses de abril a julho, com destaque no mês de maio para o maior valor registrado (254,78 mm) (Figura 4).

Figura 4: Médias mensais de precipitação em Aracaju no período 2015-2024.



Fonte: INMET. Elaboração: Autoria própria, 2025.

Para o município de Aracaju, consideram-se eventos pluviais de risco extremo quando o volume de chuvas atinge, estatisticamente, índice igual ou superior a 30 mm/24h, tendo por base o percentil 95. Ao considerar o percentil 99, entende-se que há a existência de eventos de chuva muito extremos cujo índice alcança os 57,2 mm/24h e se aproxima do valor estabelecido por Pinto e Brazil (2016) para os eventos extremos que é de 60 mm/24h.

A partir da análise da distribuição do acúmulo mensal de pluviosidade, foram registrados um total de 81 eventos de chuvas extremas, utilizando o valor de 30mm como limiar, onde observou-se

a ocorrência de um período mais chuvoso de abril a junho (outono/inverno) com relação aos meses, conforme apresentado na Tabela 1. Esses períodos são considerados mais suscetíveis a alagamentos na cidade.

Tabela 1 – Relação dos eventos de chuvas extremas em Aracaju por mês (2015-2024).

Ano / mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
2015	0	0	0	2	3	2	2	0	0	0	0	0	9
2016	0	0	0	0	2	4	0	0	0	0	0	0	6
2017	0	0	0	2	3	0	0	0	0	1	0	0	6
2018	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
2019	0	0	0	2	2	2	3	0	0	1	0	0	10
2020	0	1	3	3	2	4	0	0	0	0	0	0	13
2021	1	0	1	1	1	0	2	0	0	1	0	1	8
2022	0	0	0	0	2	0	0	1	0	1	1	0	5
2023	0	0	4	1	4	1	1	0	0	0	0	0	11
2024	0	0	1	3	3	3	1	0	0	0	0	0	11
Total	1	2	9	15	22	16	9	1	0	4	1	1	81

Fonte: Inmet (2024). Elaboração: Autoria própria.

Pode-se perceber que a partir de agosto, quando finda o inverno, apenas um evento foi registrado seguido de nenhum registro no mês de setembro. Os anos 2019, 2020, 2023 e 2024 registraram as maiores quantidades de eventos. Já para os eventos de chuvas muitos extremas, considerando 57,2 mm/24h, foram registradas 24 ocorrências com destaque no mês de maio que registrou mais de 40% do total (Tabela 2).

Tabela 2 – Relação dos eventos de chuvas muito extremas em Aracaju por mês (2015-2024).

Ano / mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
2015	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	4
2016	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
2017	0	0	0	1	3	0	0	0	0	1	0	0	5
2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2019	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	3
2020	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2021	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2
2023	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	3
2024	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	4
Total	1	0	2	3	9	2	3	0	0	3	1	0	24

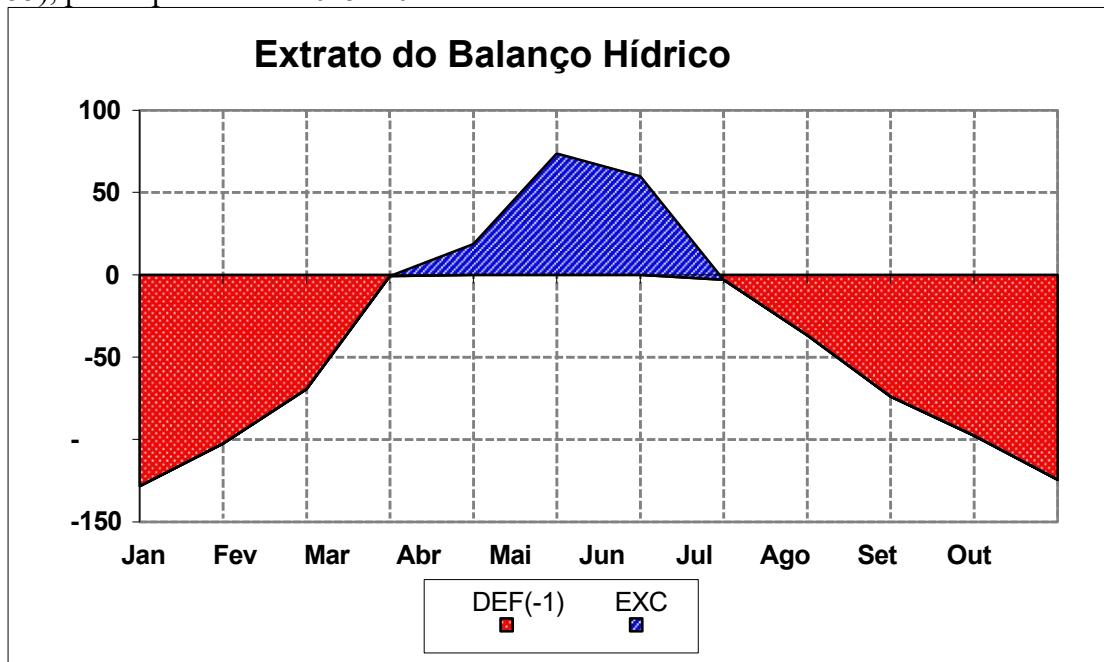
Fonte: Inmet (2024). Elaboração: Autoria própria.

Através do método de Thornthwaite e Mather (1955), também é possível analisar o balanço hídrico mensal que evidenciada por períodos bem definidos de deficiência hídrica e excedente (Figura 5). Verifica-se que os meses de abril a julho concentram a maior parte da reposição da água no solo, o que reflete o predomínio das chuvas nesse intervalo, assim como de novembro a fevereiro uma deficiência hídrica quando o déficit atinge seus níveis mais críticos.

Esses resultados coincidem com os registros veiculados pela imprensa, onde os eventos extremos de chuva são mais comuns entre os meses de maio e junho, na estação chuvosa. Pinto e Brazil (2016) destacam que os eventos pluviais surgem da associação de uma gestão ineficiente atrelado a um planejamento do uso e ocupação do solo com a falta de drenagem pluvial na cidade de Aracaju. Esse é um grande problema identificado não só nesse município, como na maioria dos

centros urbanos, gerando assim transtornos à população e riscos de inundações e alagamentos.

Figura 5 - Balanço hídrico mensal do município de Aracaju, SE. Método de Thornthwaite e Mather (1955), para o período de 2015- 2024.

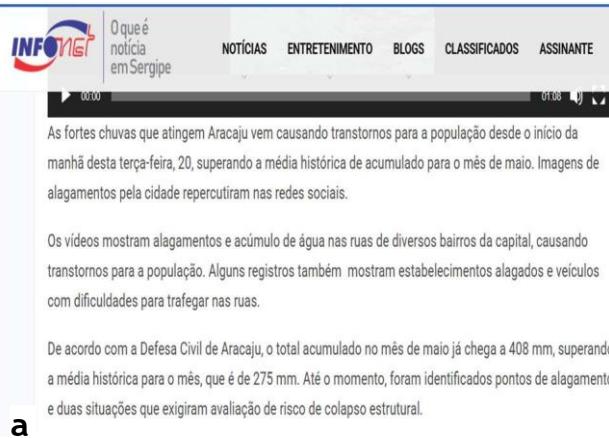


Fonte: INMET (2025); SISDAGRO (2025). Elaboração: Autoria própria.

Na Figura 6 contém algumas ocorrências registradas nos anos que apresentaram maiores índices de chuvas extremas, além de suas consequências e desdobramentos. Segundo dados da Defesa Civil, o acumulado em 48 horas já era de cerca de 285 milímetros (Figura 6B). Nesse período, foram atendidas 93 ocorrências, como alagamentos (20), avaliações de risco estrutural (45), desabamentos (3) e deslizamentos de terra (4). Das ocorrências realizadas, seis foram de intervenções totais de imóveis e 3 imóveis foram parcialmente interditados.

Cenários como esses, citados acima nas reportagens, retratam também a desproporcionalidade de crescimento imobiliário com os investimentos em infraestrutura urbana, o que torna a população mais vulnerável aos riscos associados aos eventos extremos de chuva. Isso demonstra uma ineficiência do planejamento urbano e ocupação desordenada do uso e ocupação do solo, que, associada à carência de drenagem pluvial, resultam em diversos impactos e danos. Essas ocorrências citadas acima coincidem com períodos em que foram registradas chuvas extremas na capital sergipana.

Figura 6: Ocorrências de chuvas extremas no município de Aracaju-SE. Matérias publicadas em sites de reportagens nos anos de 2019 (a), 2020 (b), 2023 (c) e 2024 (d).



a

As fortes chuvas que atingem Aracaju vem causando transtornos para a população desde o inicio da manhã desta terça-feira, 20, superando a média histórica de acumulado para o mês de maio. Imagens de alagamentos pela cidade repercutiram nas redes sociais.

Os vídeos mostram alagamentos e acúmulo de água nas ruas de diversos bairros da capital, causando transtornos para a população. Alguns registros também mostram estabelecimentos alagados e veículos com dificuldades para trafegar nas ruas.

De acordo com a Defesa Civil de Aracaju, o total acumulado no mês de maio já chega a 408 mm, superando a média histórica para o mês, que é de 275 mm. Até o momento, foram identificados pontos de alagamento e duas situações que exigiram avaliação de risco de colapso estrutural.



c

transbordamento, queda de árvore e alagamentos de ruas na Grande Aracaju

Há previsão de chuvas moderadas e intensas para o estado até o domingo (28).

Por g1 SE
23/05/2023 11h31 - Atualizado há 2 anos





b

Chuva constante provoca alagamentos em vários bairros de Aracaju

Capital sergipana registra mais de 75 milímetros de precipitação em seis horas

Cotidiano | Por F5 News
19/04/2020 09h05 - Atualizado em 20/04/2020 08h05 |
Tempo de leitura: 47 seg





d

No conjunto, o posto policial também foi atingido e os veículos não tiveram condição de deixar o pátio.

Em **24 horas, choveu 84,6 milímetros e nas últimas 72 horas foram 231 milímetros**. Eram esperados 200 milímetros de chuva para o mês de julho, isto em toda a região litorânea do estado.

Na capital, **o volume é quatro vezes maior do que o esperado para o período**, provocando pontos de alagamento na cidade.



Fonte: A) <https://infonet.com.br/noticias/cidade/chuvas-causam-transtornos-e-alagamentos-em-diversos-pontos-de-aracaju/> (20/05/2024); B) <https://www.f5news.com.br/cotidiano/chuva-constante-provoca-alagamentos-em-varios-bairros-de-aracaju.html> (15/04/2020); C) <https://g1.globo.com/se/sergipe/noticia/2023/05/23/fortes-chuvas-causam-transtornos-na-grande-aracaju.ghtml> (23/05/2023); D) <https://g1.globo.com/se/sergipe/noticia/11/07/2019>.

CONCLUSÕES

A análise dos registros de eventos de chuvas extremas possibilita realizar uma delimitação temporal para os meses de abril a junho como os períodos de maior concentração destes eventos, com cerca de 53% das ocorrências, em destaque ao mês de maio como o mais crítico. As maiores médias mensais de precipitação também retratam este período incluindo o mês de julho, demonstrando um estado de alerta às autoridades para tomadas de ações emergenciais.

Com relação ao acumulado, embora o valor de 1200 mm anuais de chuva tenha prevalecido em 7 dos 10 anos analisados, os eventos de chuvas extremas tiveram maior destaque entre os anos de 2019 e 2020 e 2023 e 2024. Baseado nos dados da série histórica (2015 a 2024) foi possível relacionar o impacto desses eventos com a ocorrência de grandes danos e estragos causados por alagamentos e inundações noticiados por reportagens e registros da Defesa Civil e órgãos municipais nestes períodos.

A partir de tais fatos, percebe-se a gravidade da problemática urbanística e de infraestrutura presente no município. Isso reflete uma administração pública ineficiente com relação ao planejamento do uso e da ocupação desordenada do solo. É necessário que os gestores do Estado busquem implementar medidas preventivas e estratégias de forma que, diante da compreensão da ocorrência dos eventos extremos de chuva, seja possível prever e tratar tais riscos.

Com estudos do clima urbano, juntamente com a análise da dinâmica das ações humanas e seu desenvolvimento social é possível identificar e prever problemas nas cidades, inclusive a ocorrência de eventos climáticos extremos e, com isso, evitar ou inimizar danos e riscos à população e ao meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) através do Convênio CAPES/UNESP Nº. 951420/2023. Agradecemos ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

À Fundação de Apoio à Pesquisa e a Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe - FAPITEC, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

REFERÊNCIAS

ARACAJU. Mapografia Social do Município de Aracaju. Secretaria Municipal da Família e da Assistência Social. Aracaju, 2019.

CARDOSO, R. S.; AMORIM, M. C. C. T. Análise do clima urbano a partir da segregação socioespacial e socioambiental em Presidente Prudente, São Paulo, Brasil. *Geosaberes*, v. 6, n. 3, p. 122-136, 2015. Disponível em: <http://www.geosaberes.ufc.br/geosaberes/article/view/462>. Acesso

CHUEIRI, D. M. A.; FORTUNATO, R. Ângelo; FERREIRA, F. P. de M.. SANEAMENTO AMBIENTAL EM ZONAS COSTEIRAS: ILHA GRANDE, RIO DE JANEIRO (BRASIL) E ÎLE

D'OLÉRON (FRANÇA). *Boletim de Conjuntura (BOCA)*, Boa Vista, v. 21, n. 63, p. 114–142, 2025. Disponível em: <https://revista.ioles.com.br/boca/index.php/revista/article/view/6265>. Acesso em 3 jun. 2025.

DUARTE, T. L. S., Santos, G. C., & Castelhano, F. J. (2021). Eventos de chuvas extremas associados aos riscos de inundações e de alagamentos em Aracaju, Sergipe. *GEOSABERES: Revista de estudos geoeducacionais*, 12, 256-273.

em 21 de maio 2025.

GUITARRARA, Paloma. "Inundação"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/geografia/inundacoes-urbanas.htm>. Acesso em 03 de junho de 2025.

<https://www.observatoriodasmetropoles.net.br/>. Acesso em 23 de maio 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo demográfico 2022:

OBSERVATÓRIO DAS METRÓPOLES, 2023. Disponível em:

PINTO, J. E. S. S; BRAZIL, J. L. S. Estudos empíricos de impactos meteórico: questões básicas da consistência em Aracaju-SE. *Revista de Geografia (Recife)*, v. 33, n. 4, p. 111-131, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/229259/23626>. Acesso em 22 de maio 2025.

resultados preliminares. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/>. Acesso em 20 maio 2025.

SANTOS, F. F. S., & de Araújo, H. M. (2021). Clima e fatores socioambientais na configuração espacial da leptospirose em Aracaju/SE. *Revista equador*, 10(01), 303-328.

THORNTHWAITE, C. W. (1948). *An approach toward a rational classification of climate*. Geography Review, 38(1), pp.55-94.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. (1955). *The water balance: publications in climatology*. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p.