III SIMPOSIO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA HUMANA
26 a 28 de agosto de 2026

Variabilidade climática e sazonalidade como determinantes das internações por Gripe na Amazônia brasileira: uma abordagem eco epidemiológica em Santarém, Pará (2010–2025)

Christiano Adson Barbosa Lima (1); Hamon Wallace da Silva Santos (2); Victor Hugo Da Rocha Uchôa (3); Tânia Mara Pires Moraes (4); Waldiney Pires Moraes (5); Ana Carla dos Santos Gomes (6)

(1) Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Natureza e Desenvolvimento, Instituto de Biodiversidade e Florestas, IBEF/Ufopa,adsoncris@hotmail.com
(2) Mestrando Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia, PPGRNA, Instituto de Engenharia e Geociências, IEG/Ufopa, wallacehamon@gmail.com
(3) Mestrando Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia, PPGRNA, Instituto de Engenharia e Geociências, IEG/Ufopa, uchoavictorhugo@gmail.com
(4) Docente do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, ISCO/Ufopa, tania.moraes@ufopa.edu.br
(5) Docente do Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Natureza e Desenvolvimento, ISCO/Ufopa, waldiney.moraes@ufopa.edu.br
(6) Docente do Programa de pós-graduação em Recursos Naturais da Amazônia, PPGRNA, Instituto de Engenharia e Geociências, IEG/Ufopa, ana.gomes@ufopa.edu.br

RESUMO

O presente estudo analisa os efeitos da variabilidade climática sobre as hospitalizações por gripe em Santarém (PA), no período de 2010 a 2025, com foco na relação entre variáveis meteorológicas e a dinâmica da morbidade respiratória na Amazônia brasileira Trata-se de um estudo ecológico de série temporal, de abordagem quantitativa, analítica e retrospectiva, utilizando dados de internações hospitalares provenientes do Sistema de Informações Hospitalares do Sistema Único de Saúde (SIH/SUS/DATASUS) e variáveis meteorológicas obtidas da reanálise ERA5. Foram considerados dados mensais de precipitação pluviométrica, temperatura do ar e umidade relativa do ar. Os dados foram processados por meio de estatística descritiva, análise de sazonalidade e análise de séries temporais. Adicionalmente, empregou-se o Modelo Aditivo Generalizado (GAM) com distribuição Binomial Negativa e função de ligação logarítmica, visando identificar associações não lineares e potenciais efeitos defasados entre as variáveis meteorológicas e as hospitalizações por gripe ao longo da série temporal analisada. Houve considerável variação interanual nas hospitalizações, com aumento gradual entre 2010 e 2013, seguido de relativa estabilização nos anos subsequentes; entretanto, os anos mais recentes indicaram um novo aumento nas ocorrências. A análise estatística confirmou uma associação não linear (P-valor<0,05) entre a precipitação e as hospitalizações estimadas. Eventos climáticos extremos e alterações nos habitats regionais também podem ter contribuído para a elevada variabilidade da precipitação observada na série temporal. Dessa forma, o estudo reforça a importância da integração entre a vigilância epidemiológica e o monitoramento climático contínuo na Amazônia brasileira, subsidiando estratégias de proteção frente às mudanças climáticas, o desenvolvimento de políticas públicas de saúde e ações de adaptação.

Palavras-chave: gripe, variabilidade climática, sazonalidade, doenças respiratórias, Amazônia brasileira.

1. INTRODUÇÃO

No contexto da saúde humana, as mudanças climáticas afetaram drasticamente a saúde humana e a dinâmica das doenças infecciosas e respiratórias, em particular (MORAES *et al.*, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2025). Altas temperaturas e modificações nos padrões de precipitação e na frequência de eventos climáticos extremos resultam em aumento da vulnerabilidade em populações nos trópicos como a Amazônia Brasileira (IPCC, 2021). Um dos problemas de saúde altamente sensíveis à mudança meteorológica são as doenças respiratórias, pois temperatura, umidade relativa e precipitação contribuem diretamente para a sobrevivência do vírus, dispersão de partículas atmosféricas e defesa do trato respiratório (SANTOS *et al*., 2025; MORAES *et al.*, 2019).

Nessas circunstâncias, a gripe constitui um importante problema de saúde pública que causa alta taxa de morbidade e hospitalização no Brasil e internacionalmente (SANTOS *et al.*, 2025). A sazonalidade da gripe é bem definida em climas temperados, mas é diversa e heterogênea nos trópicos úmidos (CARVALHO, 2018). Condições de alta umidade, chuvas sazonais, incêndios e vulnerabilidades socioambientais na Amazônia podem amplificar os impactos climáticos na saúde respiratória (IGNOTT *et al*., 2010).

Segundo Cardoso *et al*. (2021), Santarém, em particular, é um local adequado para estudos eco epidemiológicos devido ao seu clima equatorial úmido (Am), alta sazonalidade de chuvas e mudanças ambientais radicais causadas pela urbanização e extensão territorial. No entanto, poucos estudos estão disponíveis investigando a associação entre variáveis meteorológicas e as hospitalizações por gripe em municípios de médio porte na Amazônia, particularmente aqueles que utilizam longas séries temporais (SANTOS *et al.*, 2021).

2. OBJETIVO

Identificar associações não lineares e potenciais efeitos defasados entre as variáveis meteorológicas e as hospitalizações por gripe no município de Santarém, Pará, entre 2010 e 2025.

3. MÉTODO

Trata-se de um estudo ecológico de série temporal, de abordagem quantitativa, analítica e retrospectiva, desenvolvido para investigar associações entre variáveis meteorológicas e hospitalizações por gripe, realizado em Santarém-PA. O município localiza-se na mesorregião do Baixo Amazonas (Pará), com clima equatorial úmido (Am), alta temperatura anual, alta umidade relativa e sazonalidade de chuvas pronunciada. (ALVARES *et al*., 2013).

As informações epidemiológicas relacionadas às hospitalizações de gripe foram obtidas do Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS), fornecido pelo Departamento de Informática do SUS (DATASUS) e tabuladas no TabWin.

Os parâmetros meteorológicos, temperatura (ºC), umidade (%) e precipitação (mm), dos quais os dados foram baseados neste estudo, foram retirados da reanálise ERA5, a 5ª geração de reanálise, proposta pelo Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo (ECMWF). Para o período de janeiro de 2010 a dezembro de 2025, os dados foram organizados em séries temporais mensais para análise integrada entre os indicadores climáticos e os desfechos em saúde.

O tratamento dos dados seguiu abordagem quantitativa descritiva, permitindo analisar a relação entre hospitalizações por gripe e variáveis meteorológicas, bem como identificar padrões temporais, sazonalidade e possíveis associações climáticas ao longo da série histórica estudada (ANTUNES; CARDOSO, 2015).

Os dados foram estruturados e exportados para o software R (versão 4.5.3). Verificou-se consistência, tratamento de dados ausentes, padronização das variáveis e agregação temporal das séries históricas, assegurando a qualidade e a comparabilidade das informações para análises posteriores (SANTOS *et al.*, 2025). Foi empregado o modelo Aditivo Generalizado (GAM) com distribuição Binomial Negativa, com a fórmula:

$$g(\mu_i) = \beta_0 + \sum_{j=1}^{p} \beta_j x_{ij} + \sum_{k=1}^{q} f_k(z_{ik})$$

4. RESULTADOS

A Figura 1 evidencia elevada variabilidade interanual das hospitalizações por gripe no município de Santarém ao longo do período analisado. Observou-se aumento gradual das internações entre 2010 e 2013, seguido de relativa estabilização nos anos subsequentes. Em 2020 ocorreu redução expressiva das hospitalizações, possivelmente relacionada às medidas sanitárias implementadas durante a pandemia de COVID-19, como distanciamento social, uso de máscaras e restrição de circulação, que impactaram a transmissão de vírus respiratórios (LAU *et al*., 2024).

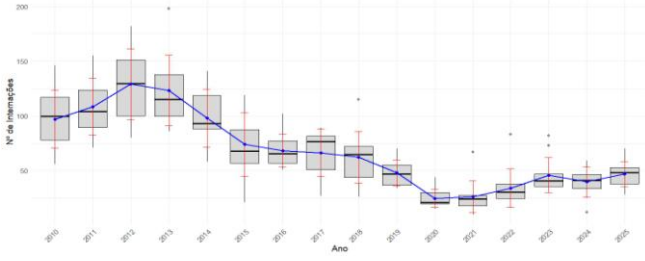

Figura 1 – Série anual das internações por gripe (AUTORES, 2026).

A sazonalidade das chuvas (Figura 2) em Santarém apresentou comportamento típico da Amazônia equatorial úmida, com maiores índices de precipitação entre dezembro e maio e redução acentuada entre junho e outubro (MARENGO *et al*., 2024). Os boxplots evidenciaram elevada variabilidade da precipitação durante os meses mais chuvosos, sugerindo influência de eventos climáticos extremos sobre a dinâmica epidemiológica regional.

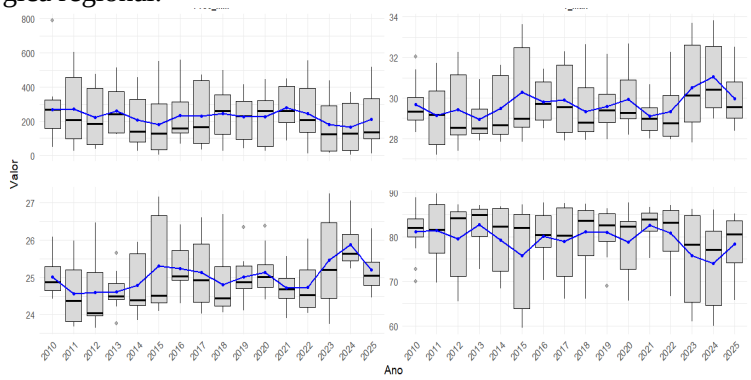

Figura 2 – Variação anual das variáveis meteorológicas (AUTORES, 2026).

A Figura 3 mostra a distribuição mensal das variáveis meteorológicas demonstrou que a umidade relativa do ar acompanhou o comportamento da precipitação, apresentando maiores valores durante a estação chuvosa e menores índices no período seco. Em contrapartida, as temperaturas máxima e mínima apresentaram elevação entre agosto e novembro, meses caracterizados por menor precipitação e maior aquecimento atmosférico. As hospitalizações respiratórias apresentaram maiores medianas entre abril e julho, período associado à elevada umidade relativa e maior circulação de agentes infecciosos respiratórios. Além dos fatores climáticos, aspectos socioambientais, como urbanização acelerada, mudanças no uso da terra, queimadas e vulnerabilidade social, podem potencializar os impactos sobre a saúde respiratória na Amazônia (OLIVEIRA *et al*., 2023).

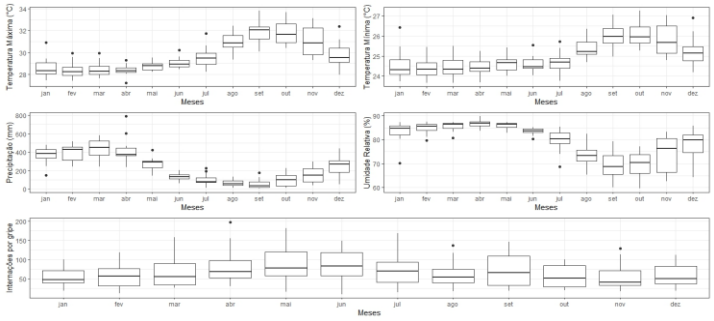

Figura 3 – Comparação entre precipitação e hospitalizações (AUTORES, 2026).

Na Tabela 1, observa-se que o Modelo Aditivo Generalizado (GAM), ajustado com distribuição Binomial Negativa e função de ligação logarítmica, identificou associação estatisticamente significativa entre precipitação pluviométrica e casos de gripe (edf = 3,151; p = 0,0207), evidenciando efeito não linear da variável climática sobre o desfecho. A temperatura mínima e a umidade relativa apresentaram associações marginais (p < 0,10), enquanto a temperatura máxima não demonstrou significância estatística. O modelo apresentou R^2 ajustado de 0,23, explicando 20,7% da variabilidade dos casos analisados.

Tabela 1 – Modelo Aditivo Generalizado (GAM) com distribuição Binomial Negativa

Coeficientes paramétricos	**Coeficiente**	**Estimativa**	**Erro Padrão**	**P-valor**
Intercept	418.835	0.03789	110.5	0,0005***
Temperatura Máxima	1.002	1.003	0.067	0.7984
Temperatura Mínima	**1.000**	**1.000**	**2.724**	**0.0989**
Precipitação Pluviométrica	3.151	4.024	11.643	0.0207*
Umidade Relativa	3.598	4.483	11.643	0.0725.
Significância de codes	‘0.001’	‘0.01’	‘0.05’	‘0.1’’

4. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo evidenciaram que a variabilidade climática exerce influência significativa sobre as hospitalizações por gripe no município de Santarém, Pará, especialmente em relação à precipitação pluviométrica, que apresentou associação estatisticamente significativa e não linear com os desfechos analisados (p < 0,05). Observou-se padrão sazonal das internações, com maiores ocorrências durante os períodos de elevada umidade e intensificação das chuvas, reforçando a influência das condições meteorológicas na dinâmica das doenças respiratórias em regiões tropicais úmidas. Além disso, a elevada

variabilidade interanual das hospitalizações sugere que eventos climáticos extremos e alterações ambientais regionais podem modificar a vulnerabilidade da população frente às infecções respiratórias. Dessa forma, o estudo contribui para o avanço das pesquisas em epidemiologia ambiental na região amazônica e reforça a necessidade da integração entre vigilância epidemiológica e monitoramento climático contínuo, subsidiando políticas públicas voltadas à prevenção, adaptação e redução dos impactos das mudanças climáticas sobre a saúde respiratória da população.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Ko¨ppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, 711–728, 2013. DOI: https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507

ANTUNES, J. L. F.; CARDOSO, M. R. A. Uso da análise de séries temporais em estudos epidemiológicos. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, Brasília, v. 24, n. 3, p. 565–576, 2015. DOI: https://doi.org/10.5123/S1679-49742015000300024

CARDOSO, M. C.; ALVES, H. D. S.; COSTA, C. I. P. E.; VIEIRA, T. A. Ações antrópicas e mudanças socioambientais no Lago de Juá, Amazônia Brasileira. *Sustainability*, Basel, v. 13, n. 16, p. 9134, 2021. DOI: 10.3390/su13169134.

CARVALHO, E. K. M. **A influência de variáveis meteorológicas na ocorrência de asma e pneumonia**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais), Universidade Federal de Campina Grande, 2018.

IGNOTTI, E. et al.. Impact on human health of particulate matter emitted from burnings in the Brazilian Amazon region. *Revista de Saúde Pública*, São Paulo, v. 44, n. 1, p. 121-130, 2010.

Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. Disponível em: **IPCC Sixth Assessment Report.** Acesso em: 11 de abril de 2026.

LAU, Y. C.; RYU, S.; DU, Z.; WANG, L.; WU, P.; LAU, E. H. Y.; COWLING, B. J.; ALI, S. T. Impact of COVID-19 control measures on respiratory syncytial virus and hand-foot-and-mouth disease transmission in Hong Kong and South Korea. *Epidemics*, v. 49, p. 100797, 2024. DOI: 10.1016/j.epidem.2024.100797

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C.; FU, R.; MUÑOZ, J. C. J.; ALVES, L. M.; DA ROCHA, H. R.; SCHÖNGART, J. Long-term variability, extremes and changes in temperature and hydrometeorology in the Amazon region: a review. *Environmental Sciences*, 2024.

MORAES, S. L. DE ALMENDRA, R.; SANTANA, P.; GARVANI, E. Variáveis meteorológicas e poluição do ar e sua associação com internações respiratórias em crianças: estudo de caso em São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública** [S.I.], v. 35, n. 7, n.p., 2019. Disponível em: < https://www.scielo.br/j/csp/a/MB6v7vJrdw7gzygqysJ6kMp/#>. Acesso em: 24 de abr. 2026.

OLIVEIRA, I. N. de OLIVEIRA, B. F. A. de SILVEIRA, I. H. da; MACHADO, L. M. G.; VILLARDI, J. W. R.; IGNOTTI, E. Air pollution from forest burning as an environmental risk for millions of inhabitants of the Brazilian Amazon: an exposure indicator for human health. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 39, n. 6, e00131422, 2023. DOI: 10.1590/0102-311XEN131422

OLIVEIRA, T. C. C. S; DALLACORT, R.; DIAS, V. R. de M.; MELO, R. P.; TRETTEL, A. C. P. T.; TIEPPO, R. C.; NASCIMENTO, V. F. Desconforto térmico e sua relação com internações e óbitos por doenças cardiovasculares na população adulta de municípios agrícolas do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Climatologia** *[S. l.]*, v. 36, n. 21, p. 679–705, 2025. DOI: 10.55761/abclima.v36i21.18861. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/18861. Acesso em: 16 maio. 2026.

SANTOS, M. R. P. dos; SILVA, W. C. da; SILVA, É. B. R. da; GOMES, A. C. S. Dinâmica espaço-temporal: condições atmosféricas versus manifestações de doenças respiratórias no Baixo Amazonas e Sudoeste do Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física** *[S. l.]*, v. 14, n. 5, p. 2790–2805, 2021. DOI: 10.26848/rbgf.v14.5.p2790-2805. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/250904. Acesso em: 17 maio. 2026.

SANTOS, T. A. S. dos; MONTEIRO, D. L.; AZEVEDO, L. E. C. de; JORGE, C. E. M.; COUTINHO, E. C. Correlação das variáveis meteorológicas com os casos de internações por doenças do aparelho respiratório no município de Marabá (PA). **Revista Brasileira de Climatologia**, *[S. l.]*, v. 36, n. 21, p. 74–99, 2025. DOI: 10.55761/abclima.v36i21.18721. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/18721. Acesso em: 01 maio. 2026.