

A influência das variáveis meteorológicas na incidência dos casos de arboviroses no Município de Belém, Estado do Pará (PA), Brasil

The influence of meteorological variables on the incidence of arbovirus cases in the Municipality of Belém, State of Pará (PA), Brazil

La influencia de las variables meteorológicas en la incidencia de casos de arbovirosis en el Municipio de Belém, Estado de Pará (PA), Brasil

Recebido: 04/11/2025 | Revisado: 11/11/2025 | Aceitado: 11/11/2025 | Publicado: 13/11/2025

Thayara França Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5540-2144>
Universidade da Amazônia, Brasil
E-mail: thayarafrancap@gmail.com

Maria Eduarda da Conceição Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7793-088X>
Universidade da Amazônia, Brasil
E-mail: ma.eduardagomes16@gmail.com

Juliana Beatriz de Azevedo Furtado

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3162-1742>
Universidade da Amazônia, Brasil
E-mail: Julianabeatriz166@gmail.com

Arnaldo Jorge Martins Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9153-1234>
Instituto Evandro Chagas, Brasil
E-mail: arnaldofilho@iec.gov.br

Resumo

As arboviroses, como dengue, chikungunya e zika, representam importante ameaça à saúde pública, cuja expansão dos locais de oviposição do *Aedes aegypti* está relacionada às variáveis meteorológicas, favorecendo sua transmissão. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo analisar a influência das variáveis meteorológicas na incidência de dengue, chikungunya e zika no Município de Belém (PA), no período de 2020 a 2024. Foram utilizados dados secundários do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As análises estatísticas, por regressão linear simples, avaliaram associações entre as variáveis meteorológicas e a incidência das arboviroses, com nível de significância de 5% ($p<0,05$). No período, notificaram-se 7.560 casos prováveis, sendo a dengue responsável por 67,31%, chikungunya por 29,75% e zika por 2,94%. A precipitação e a umidade relativa do ar mostraram associação significativa com dengue e chikungunya em vários anos, enquanto a temperatura apresentou correlação mais variável. Para zika, a associação foi limitada, possivelmente pela subnotificação. Os resultados demonstram correlação entre fatores climáticos e a incidência das arboviroses em Belém, indicando que períodos com maior precipitação e umidade favorecem a proliferação do *Aedes aegypti* e o aumento da transmissão viral. Reforça-se a necessidade de controle contínuo e integrado do vetor, para reduzir os impactos dessas doenças na saúde pública.

Palavras-chave: *Aedes aegypti*; Dengue; Chikungunya; Zika virus; Efeitos do clima.

Abstract

Arboviruses such as dengue, chikungunya, and zika represent an important threat to public health, whose expansion of *Aedes aegypti* breeding sites is related to meteorological variables, favoring their transmission. Thus, this study aimed to analyze the influence of meteorological variables on the incidence of dengue, chikungunya, and zika in the municipality of Belém (PA), from 2020 to 2024. Secondary data were obtained from the Information System for Notifiable Diseases (SINAN) and the National Institute of Meteorology (INMET). Statistical analyses using simple linear regression assessed associations between meteorological variables and arbovirus incidence, with a 5% significance level ($p<0,05$). During the period, 7,560 probable cases were reported, with dengue accounting for 67.31%, chikungunya for 29.75%, and zika for 2.94%. Precipitation and relative humidity showed significant association with dengue and chikungunya in several years, while temperature presented a more variable correlation. For zika, the association was limited, possibly due to underreporting. The results demonstrate a correlation between climatic factors and arbovirus incidence in Belém, indicating that periods with higher rainfall and humidity favor

Aedes aegypti proliferation and increased viral transmission. Continuous and integrated vector control is reinforced to reduce the impact of these diseases on public health.

Keywords: *Aedes aegypti*; Dengue; Chikungunya; Zika virus; Climate effects.

Resumen

Las arbovirosis, como dengue, chikungunya y zika, representan una importante amenaza para la salud pública, cuya expansión de los lugares de oviposición del *Aedes aegypti* está relacionada con las variables meteorológicas, favoreciendo su transmisión. De este modo, el presente estudio tuvo como objetivo analizar la influencia de las variables meteorológicas en la incidencia de dengue, chikungunya y zika en el municipio de Belém (PA), en el período de 2020 a 2024. Se utilizaron datos secundarios del Sistema de Información de Enfermedades de Notificación Obligatoria (SINAN) y del Instituto Nacional de Meteorología (INMET). Los análisis estadísticos, mediante regresión lineal simple, evaluaron las asociaciones entre las variables meteorológicas y la incidencia de las arbovirosis, con un nivel de significancia del 5% ($p<0,05$). En el período, se notificaron 7.560 casos probables, siendo el dengue responsable del 67,31%, chikungunya del 29,75% y zika del 2,94%. La precipitación y la humedad relativa del aire mostraron asociación significativa con dengue y chikungunya en varios años, mientras que la temperatura presentó una correlación más variable. Para zika, la asociación fue limitada, posiblemente por subnotificación. Los resultados demuestran una correlación entre los factores climáticos y la incidencia de las arbovirosis en Belém, indicando que los períodos con mayor precipitación y humedad favorecen la proliferación del *Aedes aegypti* y el aumento de la transmisión viral. Se refuerza la necesidad de control continuo e integrado del vector para reducir los impactos de estas enfermedades en la salud pública.

Palavras clave: *Aedes aegypti*; Dengue; Chikungunya; Virus Zika; Efectos del clima.

1. Introdução

As enfermidades como dengue, chikungunya e zika apresentam elevada incidência e configuraram importante ameaça à saúde pública, em virtude do potencial de originar epidemias capazes de impactar significativamente os indicadores de morbidade e mortalidade da população. A transmissão ocorre, predominantemente, por meio do mosquito *Aedes aegypti*, cuja ampla distribuição geográfica e alta capacidade de adaptação aos métodos convencionais de controle dificultam as estratégias de prevenção, uma vez que, aspectos climáticos também desempenham papel determinante na ampliação dos locais de oviposição do vetor (Meason & Paterson, 2014; Fernandes et al., 2024).

No período de 2016 a 2020, o Brasil registrou um cenário epidemiológico expressivo de arboviroses transmitidas pelo *Aedes aegypti*, com destaque para a dengue, responsável por cerca de 9,2 milhões de casos e 494 óbitos. A chikungunya somou aproximadamente 373 mil casos e 19 óbitos, enquanto a zika alcançou 10,6 mil registros e apenas 1 óbito. No total, as três arboviroses contabilizaram cerca de 9,6 milhões de casos e 514 óbitos, revelando a magnitude da circulação viral no território brasileiro e reforçando a importância da vigilância contínua e integrada do vetor (Donateli & Campos, 2023).

O vírus da dengue (DENV), zika (ZIKV) e chikungunya (CHIKV) compartilham características estruturais e funcionais comuns, por serem vírus de RNA de fita simples com polaridade positiva, envelopados e com simetria icosaédrica, pertencentes às famílias *Flaviviridae* (DENV e ZIKV) e *Togaviridae* (CHIKV) (Kuno & Chang, 2007; Perera & Kuhn, 2008; Hou et al., 2017). Além disso, enquanto DENV e ZIKV pertencem ao gênero *Orthoflavivirus* e compartilham maior semelhança na organização genômica e proteica (Huang et al., 2014; Guzman et al., 2016), o CHIKV, do gênero *Alphavirus*, distingue-se pela síntese de um RNA subgenômico para expressão das proteínas estruturais e mecanismo de brotamento (Schwartz & Albert, 2010; Sun et al., 2013).

A Amazônia brasileira integra um dos ecossistemas mais ricos e complexos do mundo, compondo uma vasta diversidade biológica. Esse cenário favorece a interação entre hospedeiros vertebrados e artrópodes hematófagos, garantindo a manutenção e a circulação de vários arbovírus (Medeiros & Vasconcelos, 2019). No entanto, a intensa ação antrópica sobre este ambiente tem contribuído para o surgimento e consequentemente, para a expansão das arboviroses (Nunes et al., 2009).

No Brasil, a introdução do *Aedes aegypti*, está relacionado ao deslocamento dos navios negreiros advindos do continente africano. Entretanto, a primeira ocorrência clínica confirmada laboratorialmente foi registrada no Norte do país,

região que compõe a faixa amazônica, em Boa Vista (RR), nos anos de 1981 e 1982, envolvendo os sorotipos DENV-1 e DENV-4 (Brasil, 2025). Desde então, a dengue tem apresentado surtos periódicos em várias regiões do Brasil, com padrões influenciados por fatores ambientais e sociais (Ellwanger et al., 2020).

Seguindo este panorama, os casos autóctones de chikungunya foram registrados pela primeira vez no território brasileiro no ano de 2013, no Oiapoque (AP), associados ao genótipo asiático, e somente no ano seguinte em 2014, em Feira de Santana (BA), relacionados ao genótipo ECSA (*Eastern, Central and Southern Africa*), sendo este, predominante em todas as regiões do país. Atualmente, o Brasil é o detentor do maior número de casos de chikungunya nas Américas (Silva et al., 2018; De Souza et al., 2023).

Já o zika vírus foi identificado no Brasil mais recentemente, no ano de 2015 em Camaçari (BA), sendo inicialmente considerada uma infecção de caráter benigno e autolimitada. Todavia, observou-se que as internações por manifestações neurológicas se tornavam cada vez mais expressivas, uma vez que, foram registrados 1.247 recém-nascidos com microcefalia ainda no mesmo ano de início da sua circulação, revelando o impacto da epidemia e sua gravidade (Vargas et al., 2016).

Segundo Marcondes et al. (2017), a ocorrência das arboviroses está relacionada tanto às alterações climáticas quanto à propagação vetorial. As variáveis meteorológicas, como temperatura, umidade e precipitação estabelecem condições ambientais ideais para a proliferação do vetor e intensificação da transmissão viral (Alto & Juliano, 2001; Costa et al., 2010). O aumento das temperaturas favorece a sobrevivência, acelera a reprodução e prolonga os períodos de transmissão do *Aedes aegypti*, além de permitir sua adaptação em áreas não endêmicas. De semelhante modo, altos níveis de precipitação e umidade proporcionam locais propícios para a manutenção e expansão do mosquito (Semenza et al., 2022).

Portanto, considerando o clima oportuno do município de Belém, Pará, caracterizado por temperaturas elevadas, alta umidade e índices pluviométricos frequentes, torna-se essencial investigar como as condições meteorológicas influenciam a incidência de novos casos de arboviroses na região. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo analisar a influência das variáveis meteorológicas na incidência de dengue, chikungunya e zika no Município de Belém (PA), no período de 2020 a 2024.

2. Metodologia

Trata-se de um estudo de caráter observacional, descritivo, retrospectivo, documental de fonte direta no sistema DATASUS e quantitativo (Pereira et al., 2018) com uso de estatística descritiva simples com emprego de gráficos, classes de dados, valores de máximos e mínimos, frequência absoluta e frequência relativa porcentual (Shitsuka et al., 2014) e análise estatística (Bekman & Costa Neto, 2009), o qual foi conduzido a partir da análise de dados secundários referentes às arboviroses: dengue, chikungunya e zika, notificadas no Município de Belém, Estado do Pará, no período de janeiro de 2020 a dezembro de 2024.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o município de Belém apresenta população de 1.303.403 habitantes, configurando-se como o município mais populoso do Estado. A cidade ocupa a posição de segunda mais populosa da Região Norte e a décima primeira do Brasil, com densidade demográfica de 1.230,25 habitantes por km².

As informações epidemiológicas foram obtidas no Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), disponibilizado pelo Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), sendo incluídos apenas os registros referentes ao período do estudo, de pacientes residentes no município de Belém (PA). Os dados foram organizados por mês e ano de notificação, possibilitando a análise da incidência mensal das arboviroses ao longo dos anos.

As variáveis meteorológicas foram extraídas do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que reúne informações provenientes da estação localizada no município de Belém (latitude: -1,411228; longitude: -48,439512). As

variáveis selecionadas foram temperatura (°C), umidade relativa do ar (%) e precipitação (mm), as quais foram posteriormente processadas conforme os critérios estabelecidos para o estudo.

Todos os dados foram tabulados e organizados em planilhas utilizando o *software Microsoft Excel®* 2019. As variáveis meteorológicas foram originalmente disponibilizadas em registros horários para os 365 dias do ano, o que não era compatível com a escala mensal dos dados epidemiológicos do estudo. Para adequação, os dados foram processados da seguinte forma:

- Temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%): foram calculadas médias diárias a partir das observações horárias, e posteriormente essas médias diárias foram utilizadas para calcular a média mensal mínima e máxima para cada variável.
- Precipitação (mm): foram somados os valores diários ao longo de cada mês, obtendo-se o acúmulo total mensal de precipitação no município.

Após a adequação dos dados meteorológicos a uma escala mensal, referentes ao período de 2020 a 2024, foram organizadas planilhas de análise relacionando as variáveis de temperatura, umidade e precipitação com o número de casos de cada arbovirose. A partir dessas planilhas, foi possível observar o comportamento individual de cada doença e também o conjunto das arboviroses, permitindo avaliar possíveis correlações com as condições climáticas.

Para verificar a associação entre as variáveis independentes (fatores meteorológicos) e a variável dependente (número de casos de arboviroses), aplicou-se o teste de regressão linear simples (Chein, 2019), adotando-se nível de significância de 5% ($p<0,05$). As análises foram realizadas no *software Microsoft Excel®* 2019, que também foi utilizado para a construção dos gráficos de combinação, facilitando a visualização das tendências e relações observadas entre as variáveis.

Quanto aos aspectos éticos, ressalta-se que foram utilizados exclusivamente dados secundários, de domínio público e sem identificação nominal dos indivíduos, estando em conformidade com a Resolução nº 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde (CNS), que regulamenta pesquisas envolvendo seres humanos. Dessa forma, dispensando submissão do estudo a um Comitê de Ética em Pesquisa (CEP).

3. Resultados

Análise de ocorrência de arboviroses e de variáveis meteorológicas

No período de janeiro de 2020 a dezembro de 2024, foram registrados 7.560 casos prováveis de arboviroses no município de Belém, Pará, correspondendo à soma das ocorrências de dengue, chikungunya e zika. Destaca-se a dengue como a arbovirose mais incidente, representando 67,31% do total com 5.089 casos, seguida pela chikungunya com 29,75% (2.249 casos) e a zika com 2,94% (222 casos), representados na Tabela 1.

A evolução anual do número de casos de arboviroses no período estudado não indicam padrão linear consistente para as doenças investigadas. O ano de 2024 apresenta um aumento acentuado para todos os agravos em relação aos anos anteriores, especialmente para dengue, com 3.433 casos (76,29%), as notificações de chikungunya e zika demonstram variações menos uniformes ao longo dos anos, com picos intercalados de menor e maior incidência (Tabela 1).

Tabela 1 – Total de casos notificados de dengue, chikungunya e zika no Município de Belém, Estado do Pará, Brasil, no período de 2020 a 2024

Agravos	2020 (%)	2021 (%)	2022 (%)	2023 (%)	2024 (%)	Total (%)
Dengue	231 (39,90%)	619 (69,79%)	278 (46,10%)	528 (53,28%)	3.433 (76,29%)	5.089 (67,31%)
Chikungunya	311 (53,71%)	230 (25,93%)	278 (46,10%)	420 (42,38%)	1.010 (22,44%)	2.249 (29,75%)
Zika	37 (6,39%)	38 (4,28%)	47 (7,80%)	43 (4,34%)	57 (1,27%)	222 (2,94%)
Arboviroses*	579 (100,0%)	887 (100,0%)	603 (100,0%)	991 (100,0%)	4.500 (100,0%)	7.560 (100,0%)

Nota: (*) Dados das arboviroses corresponde ao somatório do número de casos de dengue, chikungunya e zika.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados disponíveis no Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN/DATASUS).

Dentre as variáveis meteorológicas analisadas (Tabela 2), observa-se padrões relativamente estáveis, sem variações abruptas entre os anos. A variação de temperatura média mensal manteve-se entre 27,3 °C a 30,2 °C, com o ano de 2024 registrando o maior valor máximo (30,2 °C) e 2020 com o menor valor mínimo (27,3 °C). A umidade relativa do ar variou entre 72% e 91%, alcançando seu máximo em 2022 e o mínimo em 2020. Em relação à precipitação, observou-se maior acúmulo anual em 2021 (4.300,20 mm) e o menor em 2023 (2.631,20 mm).

Tabela 2 – Panorama geral das variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa e precipitação) no Município de Belém, Estado do Pará, Brasil, no período de 2020 a 2024

	Temperatura (°C)		Umidade relativa (%)		Precipitação (mm)		
	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	Acúmulo anual
2020	27,3	29,2	72,0	85,9	110,8	570,4	4.080,60
2021	27,4	29,0	80,6	87,1	191,0	635,2	4.300,20
2022	27,7	29,0	78,5	91,0	115,4	516,4	3.721,40
2023	27,6	29,9	75,2	88,9	20,6	545,6	2.631,20
2024	28,4	30,2	73,7	89,0	43,2	540,8	3.184,20

Nota: Mínimo (mín.); Máximo (máx.).

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados disponíveis no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Análise de correlação entre incidência de arboviroses e variáveis meteorológicas

Para avaliar o nível de significância entre as variáveis meteorológicas (variável independente) e a incidência das arboviroses (variável dependente), foi executado o teste estatístico de regressão linear simples (Chein, 2019), admitindo nível de significância de 5% ($p < 0,05$). O p-valor resultante abaixo deste limiar indica que existe evidência estatística forte para rejeitar a hipótese nula, caracterizada pela ausência de associação entre as variáveis investigadas.

O percentual do coeficiente de determinação (R^2) também foi analisado, sendo o comportamento da variável dependente explicada pela variável independente, permitindo a avaliação quantitativa do grau de explicação proporcionado por cada variável meteorológica sobre a distribuição dos casos notificados. Portanto, quanto maior o valor de R^2 , maior é a correlação entre as variáveis (Chein, 2019).

A análise estatística de regressão linear simples indicou associação significativa entre a incidência de dengue e a precipitação nos anos de 2021, 2023 e 2024, não sendo significativo apenas em 2020 e 2022. A umidade relativa, por sua vez, demonstrou associação significativa em todos os anos, com R^2 variando de 34,6% até 46,3%. A temperatura também se mostrou uma variável consistente para a incidência de dengue, sendo significativa nos anos de 2020, 2022, 2023 e 2024, exceto para o ano de 2021 (Tabela 3; Figura 1).

Tabela 3 – Correlação estatística por regressão linear das variáveis meteorológicas com a incidência dos casos de dengue, zika e chikungunya, no município de Belém, Estado do Pará, Brasil, de 2020 a 2024

	2020		2021		2022		2023		2024	
	R ²	p-valor								
DENV										
PRECIP	31,4%	0,0577	35,5%	0,0406*	30,7%	0,0613	59,4%	0,0033*	39,2%	0,0293*
UMID	34,6%	0,0439*	34,6%	0,0439*	36,8%	0,0362*	45,7%	0,0157*	46,3%	0,0148*
TEMP	50,5%	0,0095*	29,8%	0,0660	37,1%	0,0352*	54,5%	0,0069*	53,5%	0,0067*
CHIKV										
PRECIP	43,3%	0,0198*	38,5%	0,0312*	0,8%	0,7814	57,8%	0,0041*	36,9%	0,0359*
UMID	43,7%	0,0192*	40,0%	0,0271*	5,3%	0,4706	39,0%	0,0298*	41,2%	0,0242*
TEMP	64,9%	0,0015*	25,2%	0,0961	2,1%	0,6508	41,0%	0,0249*	49,0%	0,0111*
ZIKV										
PRECIP	12,8%	0,2535	0,0%	0,9245	13,4%	0,2417	24,3%	0,1028	46,2%	0,0149*
UMID	18,8%	0,1588	8,9%	0,3447	0,3%	0,8518	26,4%	0,0872	49,0%	0,0116*
TEMP	36,5%	0,0374*	0,0%	0,9997	0,6%	0,8074	21,8%	0,1258	35,5%	0,0408*
ARBO										
PRECIP	36,6%	0,0368*	34,7%	0,0437*	22,6%	0,1179	56,6%	0,0047*	40,0%	0,0275*
UMID	39,0%	0,0299*	37,2%	0,0351*	8,8%	0,3472	40,8%	0,0253*	46,5%	0,0144*
TEMP	58,4%	0,0037*	27,2%	0,0813	11,8%	0,2730	47,1%	0,0136*	54,0%	0,0064*

Nota: Precipitação (PRECIP); Temperatura (TEMP); Umidade (UMID); correlação significativa, p<0,05 (*).

Fonte: Elaborado pelos autores, por meio do software Microsoft Excel 2019, com base em dados disponíveis no Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN/DATASUS) e no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

A incidência de chikungunya demonstrou correlação significativa com a precipitação e a umidade relativa nos anos de 2020, 2021, 2023 e 2024, do qual não foram observadas associações relevantes entre as variáveis analisadas para o ano de 2022. A temperatura foi significativa apenas para os anos de 2020, 2023 e 2024 (Tabela 3; Figura 2).

Entre as três arboviroses analisadas, a zika obteve menor percentual associativo entre o número de casos registrados e as variáveis meteorológicas, não sendo significativo para a precipitação e a umidade relativa do ar entre os anos de 2020 a 2023, obtendo valores expressivos apenas para o ano de 2024. Ao contrário do padrão apresentado para as variáveis anteriores, a temperatura foi significativa apenas em 2020 e 2024 (Tabela 3; Figura 3).

Evolução temporal das variáveis meteorológicas e incidência das arboviroses

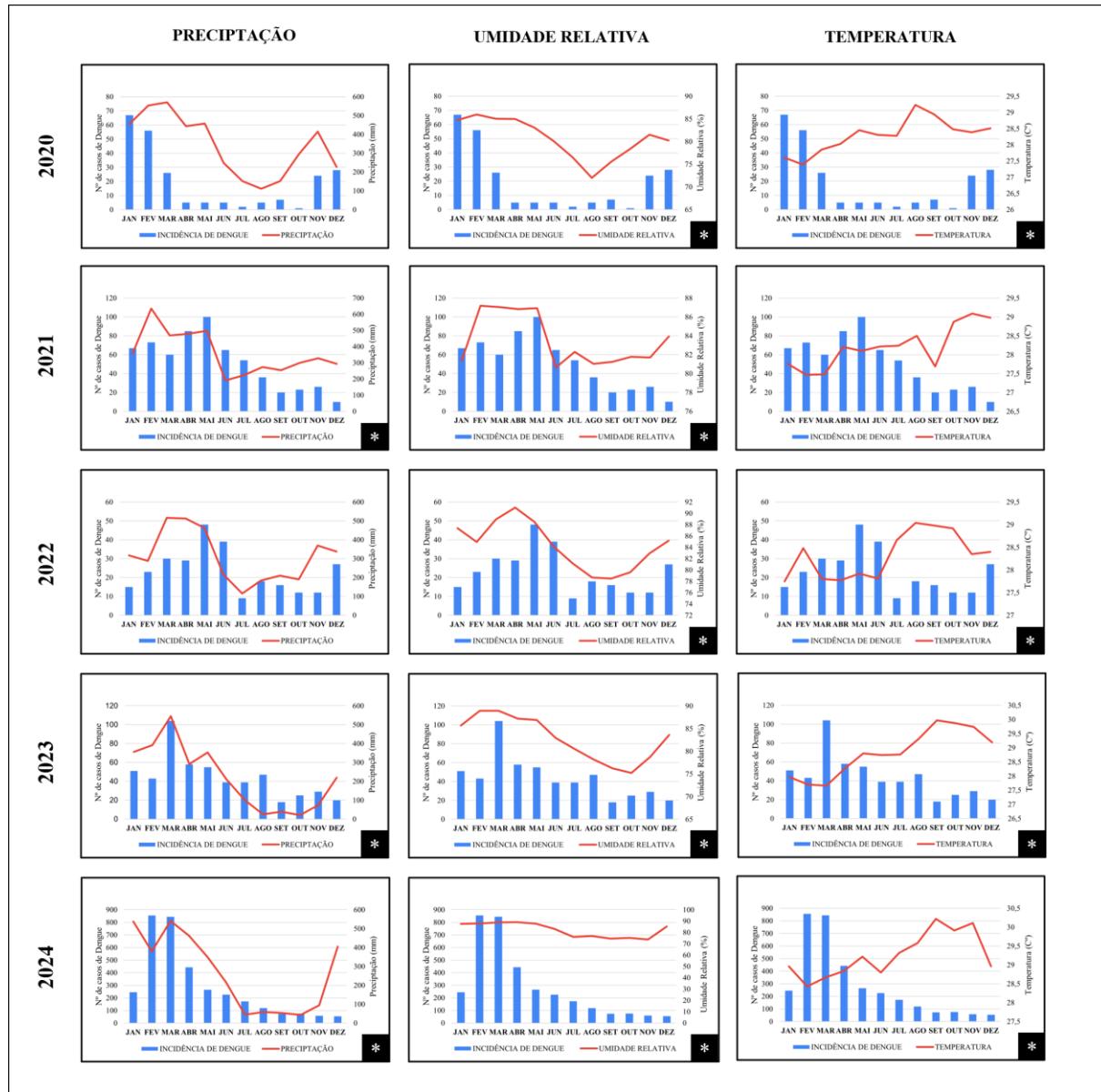
A análise estatística conjunta para as arboviroses indicou associação significativa entre a precipitação e a umidade de forma consistente com o número total de casos, sendo significativo nos anos de 2020, 2021, 2023 e 2024, com exceção apenas do ano de 2022. A temperatura apresentou padrão menos consistente, sendo significativa em apenas 3 anos dentro de período de estudo, 2020, 2023 e 2024 (Tabela 3; Figura 4).

Dengue

Na série histórica estudada, o ano de 2024 se destacou como sendo a maior epidemia de dengue já registrada na história do Brasil e também no mundo. No município de Belém, 2024 também foi o ano com maior incidência de dengue, e também de casos chikungunya e zika.

A precipitação acumulada de 2024 foi de 3.184,2 mm, com valores mensais variando entre 43,2 mm (outubro) e 540,8 mm (março). Os meses com maiores índices pluviométricos foram março (540,9 mm), janeiro (538,0 mm) e abril (462,8 mm), coincidindo com aumentos expressivos no número de casos da dengue, destacando-se fevereiro (855), março (844) e abril (443).

Figura 1 – Série temporal da incidência de dengue em relação às variáveis meteorológicas (precipitação, umidade relativa do ar e temperatura) no Município de Belém, Estado do Pará, Brasil, de 2020 a 2024.



Nota: (*) correlação estatística significativa ($p < 0,05$).

Fonte: Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN); Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

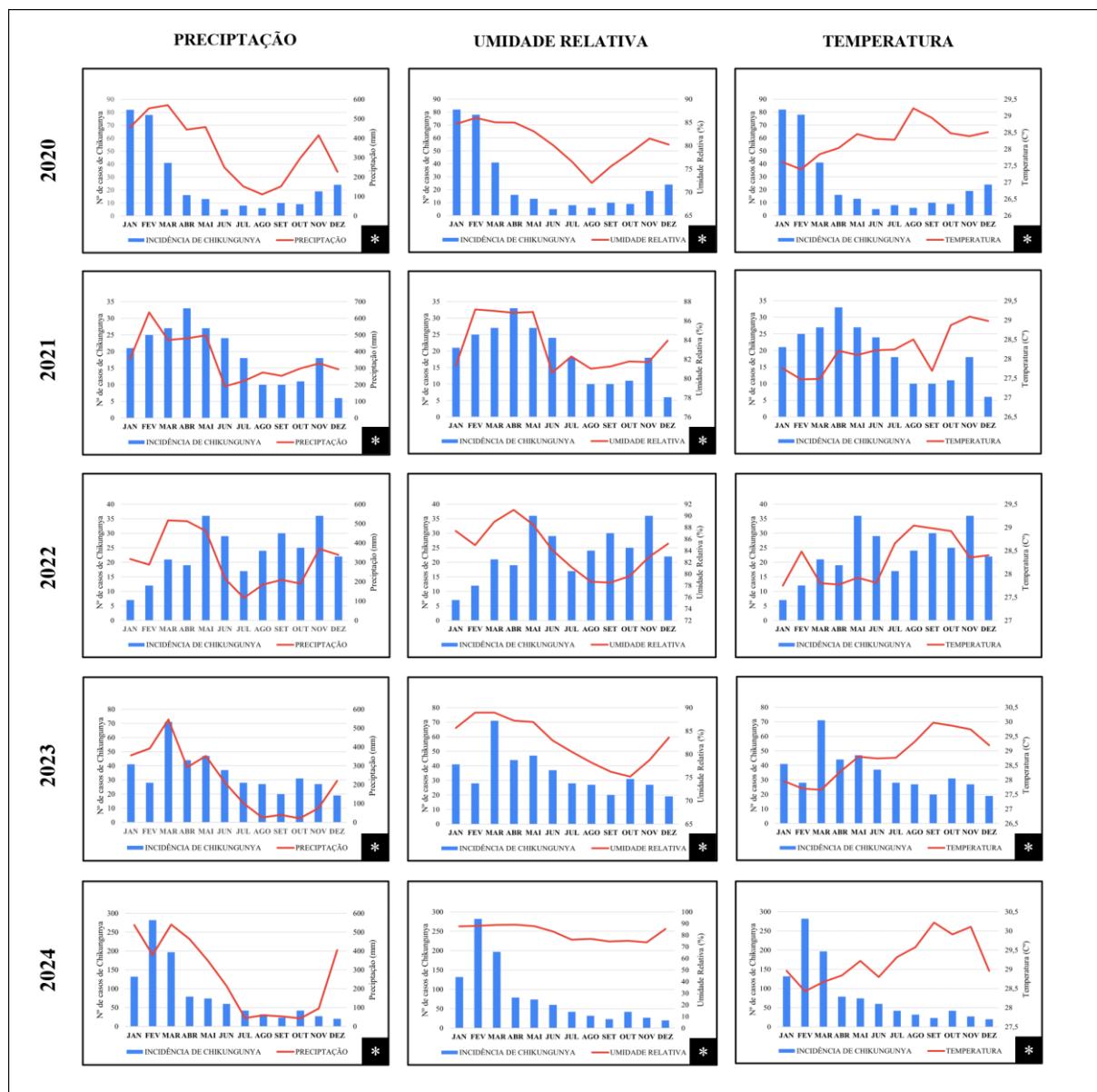
A umidade relativa do ar apresentou média anual de 82,16%, com valores mais elevados nos meses de março (88,88%), abril (89,03%) e fevereiro (87,98%). Esses meses coincidiram com os maiores registros de casos de dengue no ano, sendo 844 em março, 443 em abril e 855 em fevereiro. Por outro lado, os menores índices de umidade ocorreram em novembro (73,78%) e setembro (74,46%), meses que também apresentaram baixos números de casos, com 59 e 74 notificações, respectivamente.

A temperatura média mensal variou entre 28,43 °C (fevereiro) e 30,22 °C (setembro). Observou-se que, nos meses com temperaturas mais elevadas, como setembro (30,22 °C) e novembro (30,11 °C), os casos foram menores, com 74 e 59 casos respectivamente. Os meses com menores temperaturas médias apresentaram diferentes níveis de casos, indicando a variação ao longo do ano sem um padrão linear específico entre temperatura e casos.

Chikungunya

No ano de 2024, os maiores registros de chikungunya ocorreram entre janeiro a março, com 132, 282 e 197 casos, respectivamente. Nesse mesmo período, observaram-se também os maiores índices de precipitação, variando de 379 mm em fevereiro a 540,8 mm em março, além de elevados valores de umidade relativa, entre 87,43% e 88,88%. Em contrapartida, os meses com menores índices de precipitação, como agosto (59 mm) e outubro (43,2 mm), e menores valores de umidade, como setembro (74,46%) e novembro (73,78%), coincidiram com os baixos números de casos, variando entre 20 e 42 notificações.

Figura 2 – Série temporal da incidência de chikungunya em relação às variáveis meteorológicas (precipitação, umidade e temperatura), no Município de Belém, Estado do Pará, Brasil, de 2020 a 2024



Nota: (*) correlação estatística significativa ($p < 0,05$).

Fonte: Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN); Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

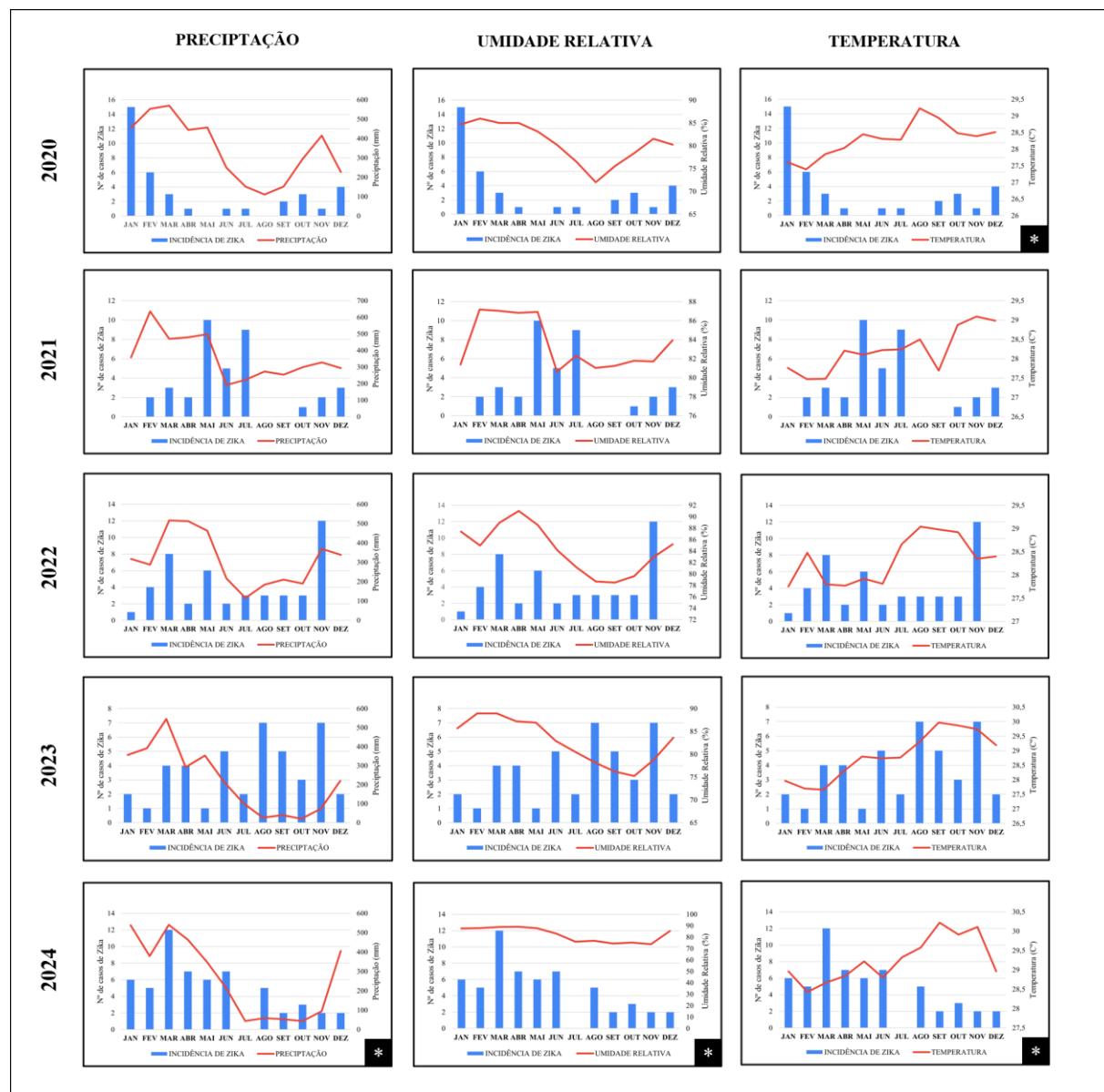
A temperatura média variou entre 28,43 °C e 30,22 °C, apresentando pouca oscilação ao longo do ano. Os maiores números de casos de chikungunya ocorreram nos primeiros meses, entre janeiro e março (132, 282 e 197 casos), período em que a temperatura se manteve próxima de 28,43 °C a 28,96 °C. Já nos meses de agosto a novembro, quando a temperatura

atingiu valores elevados, variando de 29,58 °C a 30,22 °C, observou-se redução no número de casos (23 a 42 notificações).

Zika

Em 2024 a maior concentração de notificações ocorreu entre janeiro e março, com 6 e 12 registros mensais, respectivamente. Esse período coincidiu com os mais altos índices de precipitação, variando de 538 mm em janeiro a 540,8 mm em março, além de valores elevados de umidade relativa, entre 87,63% e 88,88%.

Figura 3 – Série temporal da incidência de zika em comparação à precipitação, temperatura média mensal e umidade relativa, no ano de 2024, no Município de Belém, Estado do Pará, Brasil, de 2020 a 2024



Nota: (*) correlação estatística significativa ($p < 0,05$).

Fonte: Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN); Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

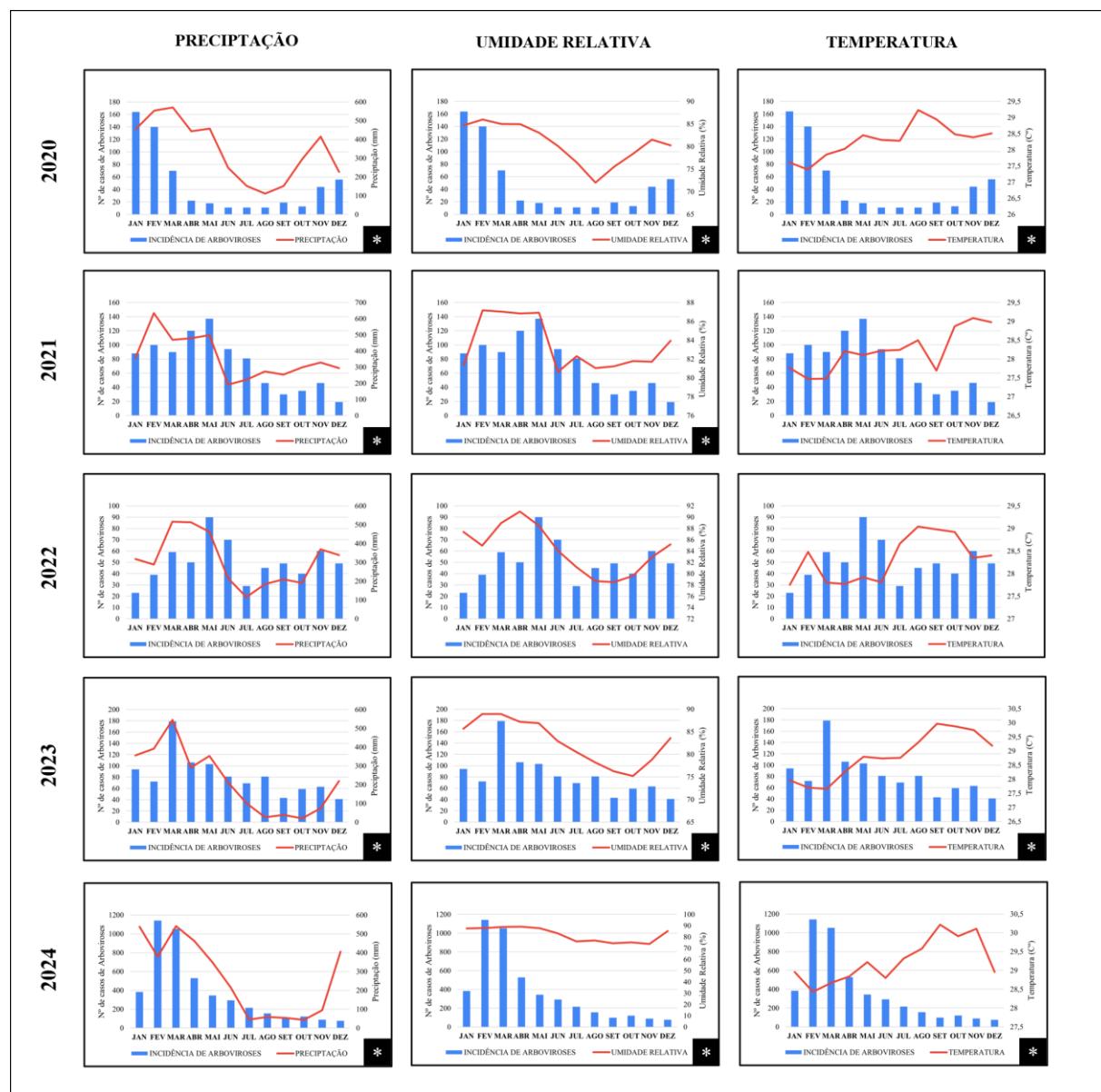
A temperatura média variou entre 28,43 °C e 30,22 °C, com pouca oscilação ao longo do ano. O maior número de casos de zika foi registrado em março (12 casos), quando a temperatura se manteve em 28,67 °C, valor próximo ao observado nos demais meses de maior incidência (janeiro, fevereiro e abril, entre 28,43 °C e 28,96 °C). Nos meses em que a temperatura

alcançou valores mais elevados, como agosto (29,58 °C), setembro (30,22 °C) e novembro (30,119 °C), observou-se uma redução expressiva no número de casos, variando de 2 a 5 registros.

Incidência conjunta das arboviroses

A análise temporal mostra variações expressivas na ocorrência dos casos ao longo dos anos, com destaque para 2024, que concentrou o maior número de notificações, com 4.500 casos, representando 59,52% do total (Tabela 1). Entre os meses de janeiro a abril, quando os índices de precipitação variaram entre 379 mm e 540,8 mm, registraram-se os maiores picos de casos, totalizando 3.107 ocorrências, representando mais de dois terços do total anual.

Figura 4 – Série temporal da incidência de arboviroses (dengue, chikungunya e zika) em comparação à precipitação, temperatura média mensal e umidade relativa, no Município de Belém, Estado do Pará, Brasil, de 2020 a 2024



Nota: (*) correlação estatística significativa ($p < 0,05$).

Fonte: Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN); Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

A partir de maio, com a redução progressiva da precipitação (214,8 mm em junho, 44,6 mm em julho e valores inferiores a 100 mm entre agosto e novembro), observou-se também uma queda acentuada no número de casos, chegando a menos de 100 registros mensais em setembro, novembro e dezembro (Figura 4).

De forma semelhante, a umidade relativa acompanhou a distribuição dos casos. Nos meses iniciais do ano, quando os índices se mantiveram elevados (87,63% a 89,03%), ocorreu a maior concentração de casos. Em contrapartida, nos meses de menor umidade, especialmente entre julho e novembro (variando 73,78% e 76,86%), o número de notificações caiu de maneira expressiva, estabilizando-se em valores baixos até o final do período analisado.

A análise da temperatura média em relação aos casos totais de arboviroses demonstra maior incidência nos meses de fevereiro (1142 casos; 28,43 °C) e março (1053 casos; 28,67 °C), mantendo ainda valores expressivos em janeiro (383 casos; 28,96 °C) e abril (529 casos; 28,84 °C). A partir de maio (345 casos; 29,22 °C), observou-se uma redução gradativa no número de registros, mesmo com temperaturas variando entre 29 °C e 30 °C, como em julho (215 casos; 29,32 °C), agosto (156 casos; 29,58 °C) e setembro (99 casos; 30,22 °C). Nos meses finais do ano, outubro a dezembro, o número de casos apresentou valores ainda menores e altos índices de temperatura.

4. Discussão

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam a influência significativa das variáveis meteorológicas (precipitação, umidade relativa do ar e temperatura) na incidência dos casos de arboviroses, com ênfase para dengue e chikungunya, no município de Belém (PA), estando em conformidade com estudos prévios de correlação conduzidos no local e em outras regiões endêmicas do país (Siqueira, 2018; Araújo et al., 2019; Gomes et al., 2025). Esses achados comprovam o impacto das variações climáticas como papel determinante na manutenção da transmissão viral e sua propagação.

Ao analisar as variáveis meteorológicas investigadas, observou-se que a precipitação, umidade relativa do ar e temperatura, não apresentaram grandes variações durante o período estudado (Tabela 2), o que contribuiu para a manutenção de condições ambientais estáveis e favoráveis à sobrevivência e reprodução do vetor. Essa constância climática pode ter contribuído para a continuidade da transmissão das arboviroses em Belém (PA).

Entre as três arboviroses investigadas, destaca-se maior incidência para os casos de dengue, representando 67,31% do total de 7.560 casos prováveis notificados ao longo dos cinco anos de estudo. Múltiplos fatores resultam nas epidemias de dengue, que incluem a falta de saneamento básico, urbanização desordenada, baixa efetividade das ações governamentais no controle do *Aedes aegypti*. No entanto, a presença dos quatro sorotipos do vírus (DENV-1, DENV-2, DENV-3 e DENV-4), circulando simultaneamente, aumentam o risco de reinfecções e contribuem para a alta incidência da doença (Gurgel-Gonçalves et al., 2024).

A análise estatística de regressão linear simples indicou associação forte e significativa ($p<0,05$) para a incidência de dengue com a precipitação (2021, 2023 e 2024), temperatura (2020, 2022, 2023 e 2024) e umidade relativa do ar (todos os anos). Em 2024, observa-se maior concentração de casos no primeiro semestre, coincidindo com os maiores índices pluviométricos. No segundo semestre, a redução das chuvas acompanha a diminuição dos casos. No entanto, é importante salientar que, em dezembro, mesmo com o aumento da pluviosidade, o número de notificações de dengue permanece baixo.

Esse fator está relacionado a biologia do vetor *Aedes aegypti* e suas condições ideais de reprodução. Um estudo conduzido por Machado et al. (2023) em municípios do estado de Mato Grosso, constatou que os casos de dengue apresentam maior concentração durante o período chuvoso, com um efeito de defasagem entre o aumento da precipitação e a elevação dos casos. Esse padrão está relacionado ao ciclo de vida do mosquito, cuja eclosão dos ovos ocorre após o acúmulo de água, fenômeno igualmente identificado em Belém (PA), onde o início da estação chuvosa precedeu o aumento nas notificações da

doença.

O ciclo de vida do *Aedes aegypti* apresenta grande variabilidade, com duração média de 11 dias para o ciclo completo. Após a oviposição das fêmeas, o estágio de ovo leva cerca de 3 dias para atingir a fase larval. As larvas, por sua vez, passam por quatro estágios em aproximadamente 5 a 10 dias, seguidos por 1 a 2 dias na fase de pupa. A longevidade média dos machos e fêmeas adultas é de 20 a 30 dias, com variações que dependem de diversos fatores. Essas diferenças refletem adaptações do vetor a diferentes condições ambientais, comportamentais e nutricionais (Sarwar & Rasool, 2022).

De modo complementar, estudos conduzidos por Robert (2019), Naji (2023), e Rosa et al. (2024) reforçam que as condições climáticas influenciam diretamente a densidade vetorial e, consequentemente, a dinâmica epidemiológica das arboviroses. Esses autores destacam que as variações de temperatura, umidade e precipitação constituem fatores decisivos para o aumento e a disseminação dessas doenças em regiões tropicais, o que corrobora os resultados encontrados no município.

Em relação ao vírus chikungunya, foram registrados 2.249 casos (29,75%) ao longo do período analisado. O comportamento da doença apresentou padrão semelhante ao da dengue, embora com menor intensidade estatística, demonstrando sensibilidade às variações de precipitação e umidade, especialmente durante os meses mais chuvosos, com destaque para o ano de 2024. A ausência de correlação significativa em 2022 pode estar relacionada à influência de fatores climáticos que podem ter impactado a dinâmica de associação entre as variáveis.

Segundo o INMET (2022), o fenômeno climático La Niña, que teve início em 2021 e se manteve no ano de 2022, caracteriza-se pelo resfriamento das águas superficiais, associado a modificações na circulação atmosférica tropical, que influenciam padrões de temperatura e precipitação. No Brasil, esse episódio se manifestou principalmente com aumento dos volumes pluviométricos nas regiões Norte e Nordeste. De abril a maio de 2022, essas anomalias se intensificaram, atingindo temperaturas até -1,1°C abaixo da média, mantendo uma intensidade moderada do fenômeno.

Estudos feitos em Porto Rico, para avaliar os efeitos da oscilação desses fenômenos no clima local e sua associação às doenças arbovirais causadas pelo *Aedes aegypti* apontam que condições associadas ao La Niña tendem a exercer efeitos contrários aos observados durante o El Niño. No entanto, como esse fenômeno geralmente sucede ao El Niño, os picos epidêmicos de arboviroses costumam ocorrer antes ou simultaneamente ao seu início, podendo sugerir uma falsa correspondência entre ambos. No geral, o estudo conclui que a transmissão tende a reduzir durante os eventos de La Niña, não havendo registro de novas epidemias nesse período (Barrera et al., 2023). Embora não existam comprovações científicas que indiquem clareza entre esses fenômenos climáticos e a propagação das arboviroses no Brasil, é inegável que esses eventos causem variações meteorológicas, que por sua vez, modifica a dinâmica dos arbovírus durante seu desenvolvimento.

Observa-se também que, os resultados de correlação para chikungunya e as variáveis meteorológicas estão de acordo com o estudo de Tjaden et al. (2017), que identificaram temperatura e precipitação como determinantes para a adequação climática da transmissão do CHIKV. No entanto, os achados deste estudo também evidenciam a relevância da umidade na disseminação do arbovírus, ressaltando sua importância na manutenção dos vetores em condições ambientais favoráveis.

Entre os cinco anos analisados, o zika vírus apresentou o menor número de registros, totalizando 222 casos (2,94%), com ausência de correlação significativa entre o número de notificações e as variáveis climáticas investigadas nos anos de 2020 a 2023, com ressalva para um caso isolado do qual a temperatura foi significativa em 2020 (p - valor 0,0149). Embora os resultados não tenham apresentado significância estatística, o número limitado de casos pode ter restringido as análises. Ainda assim, verificou-se tendência de aumento na correlação entre as variáveis meteorológicas e a ocorrência da doença em 2024, ano de maior notificação.

O baixo número de casos registrados no período analisado pode estar relacionado à subnotificação do zika vírus. Cardenas et al. (2019), inferem em estudo realizado no México que, quando a infecção pelo ZIKV durante a gravidez não resulta na síndrome congênita (SCZ), ela tende a passar despercebida, como ocorre com outras infecções por arbovírus. Assim,

muitas infecções por zika vírus não são identificadas nem notificadas, contribuindo para que o número de casos seja menor do que a quantidade real.

Além da subnotificação, o diagnóstico de ZIKV é dificultado pela semelhança clínica entre dengue e chikungunya, que compartilham sintomas comuns, como febre e erupções cutâneas. Dentre as manifestações, geralmente leves e autolimitadas, cuja recuperação se dá de forma espontânea e sem a necessidade de um tratamento médico específico, tornam o diagnóstico clínico impreciso. A ausência de testes laboratoriais acessíveis e a reatividade cruzada entre os *Orthoflavivirus*, como DENV e ZIKV, também comprometem a diferenciação entre essas infecções, contribuindo para o subregistro dos casos (Carrillo et al., 2025).

De acordo com Carlson et al. (2016), a distribuição do vírus zika é mais restrita por variações sazonais de precipitação e flutuações diurnas de temperatura, o que explica sua transmissão autóctone mais provável em regiões tropicais. De forma convergente, Caminade et al. (2017) ressaltam que o risco de transmissão do vírus está intimamente relacionado às condições climáticas, e que eventos extremos podem influenciar significativamente sua propagação. Além disso, no estudo de Tesla et al. (2018) evidenciou que a transmissão do vírus zika é otimizada em temperaturas próximas a 29°C, variando entre 22,7 °C e 34,7 °C.

Tendo em vista que as análises individuais permitiram identificar particularidades no comportamento de cada doença viral, a análise conjunta dos dados de arboviroses possibilitou compreender de forma mais ampla a influência das variáveis meteorológicas sobre a dinâmica de transmissão pelo *Aedes aegypti*, evidenciando períodos em que as variáveis meteorológicas favoreceram sua proliferação e atividade.

Os dados apontam que a precipitação apresentou significância estatística em quatro anos (p entre 0,0368 e 0,0047), exceto em 2022. A umidade relativa do ar também foi significativa nos mesmos períodos (p entre 0,0299 e 0,0144), enquanto a temperatura mostrou correlação significativa em 2020, 2023 e 2024 (p entre 0,0037 e 0,0064). A apresentação gráfica da sazonalidade (Figura 4), permite evidenciar padrões cíclicos, demonstrando que picos na temperatura, umidade e precipitação antecedem ou coincidem com aumentos nos casos de arboviroses.

É importante salientar que a ausência de correlação em 2021 e 2022 pode estar relacionada à influência dos fenômenos climáticos El Niño e La Niña, conforme mencionado anteriormente. No entanto, o impacto desses fenômenos não está claramente definido como causa principal, de modo que se subentende alterações no comportamento vetor.

Além disso, a agregação dos dados reduziu a variabilidade decorrente de fatores específicos, como subnotificação. Ao suavizar essas oscilações, foi possível identificar correlações mais consistentes entre as variáveis meteorológicas e o aumento dos casos totais de arboviroses, sugerindo que as condições climáticas exercem um papel contínuo e abrangente na manutenção da transmissão (Araújo et al., 2019). Essa estabilidade torna a análise conjunta uma ferramenta útil para avaliar tendências epidemiológicas de longo prazo.

A soma dos casos também destacou períodos de maior risco epidemiológico, nos quais houve intensificação da transmissão simultânea das arboviroses no primeiro semestre do ano, mesmo quando uma delas, isoladamente, não apresentava aumento expressivo. Esse resultado reforça a importância de estratégias integradas de vigilância e controle, voltadas ao vetor comum, uma vez que as ações preventivas para o *Aedes aegypti* impactam diretamente todas as doenças associadas (Melo et al., 2024).

Por fim, destaca-se que, na região Amazônica, caracterizada por clima quente e úmido, alta pluviosidade e grande densidade populacional, as arboviroses, como a dengue, chikungunya e zika, representam desafios persistentes à saúde pública. Conforme observado por Fernandes et al. (2024), essas doenças têm se mostrado emergentes e reemergentes no contexto brasileiro, exigindo constante monitoramento e integração entre vigilância epidemiológica e meteorológica para mitigação de surtos futuros.

5. Considerações Finais

O presente estudo demonstrou a influência direta e significativa das variáveis meteorológicas como a precipitação, umidade relativa do ar e temperatura, sobre a dinâmica de transmissão das arboviroses no município de Belém, Estado do Pará, no período de 2020 a 2024. A dengue destacou-se como a arbovirose de maior incidência, representando a maior parte dos casos notificados, seguida pela chikungunya e zika vírus.

As análises estatísticas mostraram correlação clara entre os fatores climáticos e o aumento dos casos, indicando que períodos com maior chuva e umidade favorecem a proliferação do mosquito *Aedes aegypti* e, consequentemente, a elevação da transmissão viral. Observou-se ainda um padrão sazonal, com picos de casos coincidindo com as variações das condições meteorológicas, o que reforça a importância do monitoramento climático aliado à vigilância em saúde pública.

Embora as variáveis meteorológicas tenham se mantido relativamente estáveis ao longo do período analisado, fatores externos, como os fenômenos El Niño e La Niña, influenciaram os padrões de transmissão, demonstrando que a dinâmica das arboviroses é complexa e depende de múltiplos fatores. Esse cenário evidencia a necessidade de ações conjuntas que envolvam controle ambiental, melhoria do saneamento básico, planejamento urbano e políticas públicas integradas para reduzir o impacto dessas doenças.

Dessa forma, este estudo contribui para o entendimento científico sobre o papel do clima na ocorrência das arboviroses na região amazônica, caracterizada por altas temperaturas, grande umidade e elevada pluviosidade. Reforça-se que o controle dessas doenças exige esforços contínuos e integrados, baseados em dados científicos, para proteger a população e minimizar os impactos das arboviroses na saúde pública.

Referências

- Alto, B. W., & Juliano, S. A. (2001). Precipitation and temperature effects on populations of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae): Implications for range expansion. *Journal of Medical Entomology*, 38(4), 646–656. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-38.5.646>
- Araújo, R. A. F., Uchôa, N. M., & Alves, J. M. B. (2019). Influência de variáveis meteorológicas na prevalência das doenças transmitidas pelo mosquito *Aedes aegypti*. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 34(3), 439–447. <https://doi.org/10.1590/0102-7786343054>
- Barrera, R., Acevedo, V., Amador, M., Marzan, M., Adams, L. E., & Paz-Bailey, G. (2023). El Niño Southern Oscillation (ENSO) effects on local weather, arboviral diseases, and dynamics of managed and unmanaged populations of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in Puerto Rico. *Journal of Medical Entomology*, 60(4), 796–807. <https://doi.org/10.1093/jme/tjad053>
- Bekman, O. R., & Costa Neto, P. L. O. (2009). *Análise estatística da decisão*. Edgard Blucher.
- Brasil. Ministério da Saúde. (2025). *Dengue*. <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/d/dengue>
- Caminade, C., Turner, J., Metelmann, S., Hesson, J. C., Blagrove, M. S. C., Solomon, T., ... Baylis, M. (2017). Global risk model for vector-borne transmission of Zika virus. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(1), 119–124. <https://doi.org/10.1073/pnas.1614303114>
- Cardenas, V. M., Paternina-Caicedo, A. J., & Salvatierra, E. B. (2019). Underreporting of fatal congenital Zika syndrome, Mexico, 2016–2017. *Emerging Infectious Diseases*, 25(8), 1560–1562. <https://doi.org/10.3201/eid2508.190106>
- Carlson, C. J., Dougherty, E. R., & Getz, W. (2016). An ecological assessment of the pandemic threat of Zika virus. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 10(8), e0004968. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0004968>
- Carrillo, F. A. B., Ojeda, S., Sanchez, N., Plazaola, M., Collado, D., Miranda, T., ... Harris, E. (2025). A comparative analysis of dengue, chikungunya, and Zika in a pediatric cohort over 18 years. *medRxiv* [Preprint], 3, 1–29. <https://doi.org/10.1101/2025.01.06.25320089>
- Chein, F. (2019). *Introdução aos modelos de regressão linear*. Enap. https://repositorio.enap.gov.br/jspui/bitstream/1/4788/1/Livro_Regress%C3%A3o%20Linear.pdf
- Costa, E. A. P. A., Santos, E. M. M., Correia, J. C., & Albuquerque, C. M. R. (2010). Impact of small variations in temperature and humidity on the reproductive activity and survival of *Aedes aegypti* (Diptera, Culicidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 54(3), 488–493. <https://doi.org/10.1590/S0085-56262010000300021>
- De Souza, W. M., De Lima, S. T. S., Simões Mello, L. M., Cândido, D. S., Buss, L., Whittaker, C., ... Weaver, S. C. (2023). Spatiotemporal dynamics and recurrence of chikungunya virus in Brazil: An epidemiological study. *The Lancet Microbe*, 4(3), e212–e223. [https://doi.org/10.1016/S2666-5247\(23\)00033-2](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(23)00033-2)
- Donateli, C. P. & Campos, F. C. (2023). Visualization of surveillance data on urban arboviroses transmitted by *Aedes Aegypti* in the State of Minas Gerais, Brazil. *Journal of Information Systems and Technology Management – Jistem USP*, 20, e202320003. <https://doi.org/10.4301/S1807-1775202320003>

Ellwanger, J. H., Kulmann-Leal, B., Kaminski, V. L., Valverde-Villegas, J. M., Veiga, A. B. G. D., Spilki, F. R., ... Chies, J. A. B. (2020). Beyond diversity loss and climate change: Impacts of Amazon deforestation on infectious diseases and public health. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 92(1), e20191375. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020191375>

Fernandes, C. O. S., Fernandes, D. R. A. S., Baracat, R. V. M., Silveira, P. T. M., & Braga, G. O. (2024). Emerging and reemerging arboviruses in Brazil: Dengue, chikungunya, and Zika. *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences*, 6(8), 5036–5048. <https://doi.org/10.36557/2674-8169.2024v6n8p5036-5048>

Gomes, B. S., Querino, C. A. S., Querino, J. K. A. S., Rohleder, L. A. S., Moura, M. A. L., & Alves, L. S. (2025). Correlação entre os casos de dengue e as variáveis meteorológicas em Humaitá/AM. *Caminhos de Geografia*, 26(107), 113–128. <https://doi.org/10.14393/RCG2610777579>

Gurgel-Gonçalves, R., Oliveira, W. K., & Croda, J. (2024). The greatest dengue epidemic in Brazil: Surveillance, prevention, and control. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 57, e20230458. <https://doi.org/10.1590/0037-8682-0113-2024>

Guzman, M. G., Gubler, D. J., Izquierdo, A., Martinez, E., & Halstead, S. B. (2016). Dengue infection. *Nature Reviews Disease Primers*, 2, 16055. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2016.55>

Hou, W., Cruz-Cosme, R., Armstrong, N., Obwolo, L. A., Wen, F., Hu, W., ... Tang, Q. (2017). Molecular cloning and characterization of the genes encoding the Zika virus proteins. *Gene*, 628, 117–128. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2017.07.049>

Huang, Y. J., Higgs, S., Horne, K. M., & Vanlandingham, D. L. (2014). Flavivirus-mosquito interactions. *Viruses*, 6(11), 4703–4730. <https://doi.org/10.3390/v6114703>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2022). *Cidades e Estados*. <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/belem.html>

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). (2022). *Boletim agroclimatológico mensal*, 7(6). <https://portal.inmet.gov.br/noticias/boletim-agroclimatologico-mensal-junho-2022>

Kuno, G., & Chang, G. J. J. (2007). Full-length sequencing and genomic characterization of Bagaza, Kedougou, and Zika viruses. *Archives of Virology*, 152(4), 687–696. <https://doi.org/10.1007/s00705-006-0903-z>

Machado, N. G., Neto, N. L., Lotufo, J. B. S., Santos, L. O. F., & Biudes, M. S. (2023). Spatiotemporal dengue fever incidence associated with climate in a Brazilian tropical region. *Geographies*, 3(4), 673–686. <https://doi.org/10.3390/geographies3040035>

Marcondes, C. B., Contigiani, M., & Gleiser, R. M. (2017). Emergent and reemergent arboviruses in South America and the Caribbean: Why so many and why now? *Journal of Medical Entomology*, 54(3), 509–532. <https://doi.org/10.1093/jme/tjw209>

Meason, B., & Paterson, R. (2014). Chikungunya, climate change, and human rights. *Health and Human Rights Journal*, 16(1), 105–112.

Medeiros, D. B. A., & Vasconcelos, P. F. C. (2019). Is the Brazilian diverse environment a crib for the emergence and maintenance of exotic arboviruses?. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 91(3), e20190175. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920190407>

Melo, D. C. T. V., Santos, E. M. M., Xavier, M. N., Nascimento, J. D., Barbosa, V. A., Oliveira, A. L. S., ... Oliveira, C. M. F. (2024). Integrated strategies for Aedes aegypti control applied to individual houses: An approach to mitigate vectorial arbovirus transmission. *Tropical Medicine and Infectious Disease*, 9(2), 53. <https://doi.org/10.3390/tropicalmed9030053>

Naji, H. S. (2023). Dengue fever and global warming: An epidemiological analysis. *European Journal of Medical and Health Sciences*, 5(5), 60–64. <https://doi.org/10.24018/ejmed.2023.5.5.1909>

Nunes, M. R. T., Barbosa, T. F. S., Casseb, L. M. N., Neto, J. P. N., Segura, N. O., Monteiro, H. A. O., ... Vasconcelos, P. F. C. (2009). Eco-epidemiologia dos arbovírus na área de influência da rodovia Cuiabá-Santarém (BR-163), Estado do Pará, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, 25(12), 2583–2602. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2009001200006>

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [free ebook]. Editora da UFSM.

Perera, R., & Kuhn, R. J. (2008). Structural proteomics of dengue virus. *Current Opinion in Microbiology*, 11(4), 369–377. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2008.06.004>

Robert, M. A. (2019). Temperature impacts on dengue emergence in the United States. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 222(8), 1184–1191. <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2019.05.003>

Rosa, Y. B. M., Moschen, H. T. S., Loss, A. C., Silva, T. C. C., Santos, A. P. B., Pimenta, B. C., ... Vicente, C. R. (2024). Climate change impacts on dengue transmission areas in Espírito Santo state, Brazil. *Oxford Open Immunology*, 5(1), iqaе011. <https://doi.org/10.1093/oxfimm/iqaе011>

Sarwar, M., & Rasool, B. (2022). Seasonal prevalence and phenomenal biology as tools for dengue mosquito *Aedes aegypti* (Linnaeus) (Diptera: Culicidae) management. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 65, e22220050. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2022220050>

Schwartz, O., & Albert, M. L. (2010). Biology and pathogenesis of chikungunya virus. *Nature Reviews Microbiology*, 8(7), 491–500. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2368>

Semenza, J. C., Rocklöv, J., & Ebi, K. L. (2022). Climate change and cascading risks of infectious diseases. *Infectious Diseases and Therapy*, 11(4), 1371–1390. <https://doi.org/10.1007/s40121-022-00647-3>

Shitsuka, R. et al. (2014). *Matemática fundamental para a tecnologia*. (2ed). Editora Érica.

Silva, N. M., Teixeira, R. A. G., Cardoso, C. G., Junior, J. B. S., Coelho, G. E., & Oliveira, E. S. F. (2018). Vigilância de chikungunya no Brasil: Desafios no contexto da saúde pública. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 27(3), e20180051. <https://doi.org/10.5123/S1679-49742018000300003>

Siqueira, I. S., Queiroz, J. C. B., Amin, M. M., & Câmara, R. K. C. (2018). A relação da incidência de casos de dengue com a precipitação na área urbana de Belém-PA, 2007 a 2011, através de modelos multivariados de séries temporais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 33(2), 380–389. <https://doi.org/10.1590/0102-7786332010>

Sun, S., Xiang, Y., Akahata, W., Holdaway, H., Pal, P., Zhang, X., ... Rossmann, M. G. (2013). Structural analyses at pseudo atomic resolution of chikungunya virus and antibodies show mechanisms of neutralization. *eLife*, 2, e00435. <https://doi.org/10.7554/eLife.00435>

Tesla, B., Demakovsky, L. R., Mordecai, E. A., Ryan, S. J., Bonds, M. H., Ngonghala, C. N., ... Murdock, C. C. (2018). Temperature drives Zika virus transmission: Evidence from empirical and mathematical models. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1884), 20180795. <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.0795>

Tjaden, N. B., Suk, J. E., Fischer, D., Thomas, S. M., Beierkuhnlein, C., & Semenza, J. C. (2017). Modelling the effects of global climate change on chikungunya transmission in the 21st century. *Scientific Reports*, 7(3813). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03566-3>

Vargas, A., Saad, E., Dimech, G. S., Santos, R. H., Sivini, M. A. V. C., Albuquerque, L. C., ... Percio, J. (2016). Características dos primeiros casos de microcefalia possivelmente relacionados ao vírus Zika notificados na Região Metropolitana de Recife, Pernambuco. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 25(4), 691–700. <https://doi.org/10.5123/S1679-49742016000400003>