

**ECOEPIDEMIOLOGIA: ASSOCIAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E A OCORRÊNCIA DE DENGUE EM TEIXEIRA DE FREITAS, BAHIA, BRASIL (2016-2025)*****ECOEPIDEMIOLOGY: ASSOCIATION BETWEEN CLIMATIC VARIABLES AND DENGUE OCCURRENCE IN TEIXEIRA DE FREITAS, BAHIA, BRAZIL (2016-2025)******ECOEPIDEMIOLOGÍA: ASOCIACIÓN ENTRE VARIABLES CLIMÁTICAS Y LA OCURRENCIA DEL DENGUE EN TEIXEIRA DE FREITAS, BAHÍA, BRASIL (2016-2025)***Adna Carvalho Brito Pinto¹, Cecília Viana¹, Everton Pinto Silva², Gisele Lopes de Oliveira³

e768168

<https://doi.org/10.47820/recima21.v7i6.8168>

PUBLICADO: 06/2026

RESUMO

A dengue é uma arbovirose de grande relevância em saúde pública cuja dinâmica de transmissão está fortemente associada a fatores climáticos, especialmente precipitação e temperatura, que influenciam o desenvolvimento do vetor *Aedes aegypti*. Este estudo ecológico de série temporal teve como objetivo analisar a associação entre variáveis climáticas (precipitação e temperatura) e a ocorrência de dengue no município de Teixeira de Freitas, Bahia, por meio de modelos estatísticos aplicados a séries temporais. Foram utilizados dados mensais de casos notificados de dengue obtidos no Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN/DATASUS), bem como dados meteorológicos de precipitação e temperatura provenientes da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), definindo o mês como unidade temporal de análise. Considerando o intervalo entre condições ambientais favoráveis e o registro de casos, foram aplicadas defasagens temporais de um e dois meses na variável de precipitação. Para contornar a superdispersão dos dados de contagem da doença, a análise estatística foi realizada no software R, utilizando modelo de regressão binomial negativa. Os resultados indicaram associação positiva significativa entre a precipitação com defasagem de dois meses e a ocorrência de dengue (IRR = 1,003; IC 95%: 1,000–1,006; p = 0,0034), enquanto a defasagem de um mês apresentou associação limítrofe (p ≈ 0,05). Conclui-se que a precipitação exerce influência relevante na dinâmica da doença, podendo subsidiar estratégias de vigilância epidemiológica e ações de prevenção em nível municipal.

PALAVRAS-CHAVE: Dengue. Precipitação. Variáveis climáticas.**ABSTRACT**

*Dengue is an arbovirus of great public health relevance whose transmission dynamics are strongly associated with climatic factors, especially rainfall and temperature, which influence the development of the *Aedes aegypti* vector. This ecological time-series study aimed to analyze the association between climate variables (rainfall and temperature) and dengue occurrence in the municipality of Teixeira de Freitas, Bahia. Monthly data on notified dengue cases obtained from the Notifiable Diseases Information System (SINAN/DATASUS) were used, alongside meteorological data on rainfall and temperature from the National Water and Basic Sanitation Agency (ANA) and the National Institute of Meteorology (INMET), establishing the month as the temporal unit of analysis. Considering the interval between favorable environmental conditions and the recording of cases, one- and two-month time lags were applied to the rainfall variable. To account for the overdispersion of the disease count data, the statistical analysis was performed in R software using a negative binomial regression model.*

¹ Universidade Federal do Sul da Bahia – UFSB, Graduanda em Biomedicina.² Universidade Federal do Sul da Bahia – UFSB, Graduando em Engenharia Civil.³ Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Doutora em Biotecnologia Vegetal.



The results indicated a significant positive association between rainfall with a two-month lag and dengue occurrence (IRR = 1.003; 95% CI: 1.000–1.006; $p = 0.0034$), while the one-month lag showed a borderline association ($p \approx 0.05$). These findings demonstrate that rainfall exerts a relevant influence on the dynamics of the disease, providing evidence to support municipal-level epidemiological surveillance strategies and preventive actions.

KEYWORDS: Dengue. Rainfall. Climate variables.

RESUMEN

*El dengue es una arbovirosis de gran relevancia en salud pública cuya dinámica de transmisión está fuertemente asociada a factores climáticos, especialmente precipitación y temperatura, que influyen en el desarrollo del vector *Aedes aegypti*. Este estudio ecológico de serie temporal tuvo como objetivo analizar la asociación entre variables climáticas (precipitación y temperatura) y la ocurrencia de dengue en el municipio de Teixeira de Freitas, Bahía, mediante modelos estadísticos aplicados a series temporales. Se utilizaron datos mensuales de casos notificados de dengue obtenidos del Sistema de Información de Agravos de Notificación (SINAN/DATASUS), y datos meteorológicos de precipitación y temperatura de la Agencia Nacional de Aguas y Saneamiento Básico (ANA) y del Instituto Nacional de Meteorología (INMET), definiendo el mes como unidad temporal de análisis. Considerando el intervalo entre condiciones ambientales favorables y el registro de casos, se aplicaron desfases temporales de uno y dos meses a la variable precipitación. Para controlar la sobredispersión de los datos de conteo de la enfermedad, el análisis estadístico se realizó en el software R, utilizando un modelo de regresión binomial negativa. Los resultados indicaron una asociación positiva significativa entre la precipitación con desfase de dos meses y la ocurrencia de dengue (IRR = 1,003; IC 95%: 1,000–1,006; $p = 0,0034$), mientras que el desfase de un mes presentó una asociación limítrofe ($p \approx 0,05$). Se concluye que la precipitación ejerce una influencia relevante en la dinámica de la enfermedad, pudiendo subsidiar estrategias de vigilancia epidemiológica y acciones de prevención a nivel municipal.*

PALABRAS CLAVE: Dengue. Precipitación. Variables climáticas.

INTRODUÇÃO

A dengue é uma arbovirose transmitida principalmente pelo mosquito *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Linnaeus, 1762), em áreas urbanas, e constitui um dos principais desafios de saúde pública em regiões tropicais e subtropicais do mundo. Transmitida pelo vírus DENV, com circulação simultânea de quatro sorotipos (DENV-1, DENV-2, DENV-3 e DENV-4), a doença apresenta ampla distribuição geográfica e elevada incidência, com cerca de 100 a 400 milhões de infecções ocorrendo por ano em todo o mundo, impactando significativamente os sistemas de saúde (1, 2). Nas últimas décadas, a expansão da dengue tem sido associada a fatores como urbanização acelerada, crescimento populacional, mobilidade humana, mudanças no uso do solo, alterações ambientais e condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento do vetor (2, 3).

No Brasil, a dengue apresenta elevada incidência e ampla distribuição territorial, com os quatro sorotipos do vírus circulando simultaneamente (3). Nos últimos anos, o país vem



registrando um expressivo aumento de casos da doença, passando de 135.228 casos em 2000 para 6,2 milhões de casos prováveis no primeiro semestre de 2024 (3-5). Essa rápida expansão epidemiológica é potencializada pelas condições de saneamento ainda precárias em diversas áreas urbanas, o que favorece a proliferação do vetor ao permitir que as fêmeas depositem ovos em recipientes com água acumulada, com diferentes graus de limpeza (6).

Para além dos fatores estruturais urbanos, a análise de variáveis climáticas é fundamental para a compreensão da distribuição ecoepidemiológica dessa arbovirose no país. O aumento da temperatura média e os padrões de pluviosidade afetam diretamente o ciclo biológico do *Ae. aegypti* (7). Evidências indicam que temperaturas elevadas reduzem o período de incubação extrínseca viral e aceleram o desenvolvimento das larvas, ampliando significativamente a capacidade de transmissão da doença (8).

Apesar da reconhecida vulnerabilidade geoclimática e das altas taxas de incidência em Teixeira de Freitas, há uma notável escassez de estudos ecoepidemiológicos que investiguem a dinâmica temporal específica entre o clima e a dengue na região do Extremo Sul baiano. A maior parte das pesquisas de séries temporais com modelagem estatística concentra-se em grandes capitais ou na região Sudeste, deixando uma lacuna científica no entendimento de como a precipitação e a temperatura modulam a proliferação do vetor nessa localidade. Preencher essa lacuna é essencial para a saúde pública municipal, pois o conhecimento da defasagem temporal (*lag*) exata entre as alterações climáticas e os picos de transmissão fornece evidências robustas para a criação de sistemas de alerta precoce (5, 9).

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo geral analisar a associação entre variáveis climáticas, especialmente a precipitação pluviométrica e a temperatura média do ar, e a ocorrência de casos de dengue no município de Teixeira de Freitas, Bahia, utilizando modelos estatísticos aplicados a dados de série temporal. Como objetivos específicos, busca-se analisar essa relação do ponto de vista da ecoepidemiologia e registrar informações que possam contribuir para o aprimoramento das estratégias de monitoramento epidemiológico e desenvolvimento de intervenções preventivas mais eficazes no controle da arbovirose no município.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

O modelo conceitual ecoepidemiológico que sustenta este estudo compreende o clima não apenas como um fator isolado, mas como um macrodeterminante ambiental primário. Nessa perspectiva, as variáveis climáticas (precipitação e temperatura) atuam diretamente na



viabilidade do sistema de transmissão, modulando os limites biológicos de sobrevivência, reprodução do vetor (*Aedes aegypti*) e o tempo de replicação viral. A escolha dessas variáveis independentes baseia-se na premissa de que o risco epidemiológico é uma resposta defasada a essas condições ambientais prévias (7-9).

O ciclo biológico do vetor, *Ae. aegypti*, é composto pelas fases de ovo, larva, pupa e mosquito adulto, sendo fortemente influenciado por fatores ambientais, especialmente a disponibilidade de água e a temperatura do ambiente (10). A precipitação pluviométrica desempenha papel fundamental nesse processo, pois favorece a formação de criadouros onde o mosquito fêmea deposita seus ovos. O *Ae. aegypti* apresenta uma metamorfose relativamente curta, podendo completar seu ciclo biológico do ovo ao adulto em aproximadamente 7 a 10 dias, dependendo principalmente das condições de temperatura e disponibilidade de água no ambiente (11).

A literatura científica apresenta divergências importantes sobre o impacto do volume pluviométrico, evidenciando uma relação não linear. Enquanto alguns estudos apontam uma associação direta e positiva entre o aumento das chuvas e a incidência de dengue, como observado na região de Manaus (12), outras evidências apontam para o chamado “efeito de lavagem” (*flushing effect*). Esse fenômeno demonstra que, enquanto chuvas moderadas e bem distribuídas aumentam a incidência da doença ao criar habitats, chuvas excessivas ou extremas podem transbordar os criadouros, lavando e destruindo ovos e larvas, o que reduz a transmissão (13). É exatamente essa complexidade e a necessidade biológica de tempo para o desenvolvimento das larvas que tornam inadequada a análise no mesmo período temporal. Estudos convergentes em outras regiões, como em Foz do Iguaçu, confirmam que a correlação da pluviosidade com a dengue é melhor observada com defasagens de um a três meses (9), o que embasa criticamente a escolha metodológica de *lags* de 1 e 2 meses adotada neste estudo para capturar o atraso sistêmico entre o acúmulo de água e a infecção humana.

Além da influência sobre o desenvolvimento do vetor, fatores climáticos também interferem na dinâmica de transmissão do vírus da dengue. A fêmea do *Ae. aegypti* realiza hematofagia, sendo o repasto sanguíneo fundamental para a maturação dos ovos, e passa por um período de incubação viral denominado período de incubação extrínseca, no qual o arbovírus se replica e se dissemina até alcançar as glândulas salivares do vetor. Esse processo geralmente dura entre 8 e 12 dias, podendo variar conforme fatores ambientais, especialmente a temperatura (1, 14).

No que tange à temperatura, a literatura converge ao estabelecer que faixas térmicas ideais (frequentemente entre 22 °C e 30 °C ou 27 °C e 35 °C) otimizam o desenvolvimento, a



longevidade do vetor e reduzem o período de incubação extrínseca do vírus (10, 12, 13). No entanto, estudos recentes divergem da abordagem tradicional focada apenas nas médias térmicas sazonais. Pesquisas em larga escala no Brasil argumentam que a sustentação da transmissão da dengue e a eclosão de surtos atípicos severos estão fortemente atreladas à ocorrência de anomalias térmicas, ou seja, dias consecutivos em que as temperaturas superam a média climatológica histórica. Esse aquecimento anômalo persistente permite a quebra de barreiras ecológicas, acelerando o ciclo do vetor mesmo em períodos do ano que antes limitavam a doença, adicionando uma camada de imprevisibilidade aos modelos preditivos baseados apenas no clima endêmico (15).

Quando um mosquito infectado pica um indivíduo suscetível, ocorre a transmissão do vírus, iniciando-se o período de incubação intrínseca no hospedeiro humano, que antecede o aparecimento dos sintomas clínicos da doença. Esse período geralmente varia entre 4 e 10 dias, podendo se estender de 3 a 14 dias (1, 3, 16). Após o início dos sintomas, o indivíduo tende a buscar atendimento em serviços de saúde, onde o caso pode ser registrado, investigado e, quando indicado, confirmado por meio de exames laboratoriais, sendo posteriormente notificado aos sistemas de vigilância epidemiológica (1).

Considerando o ciclo de desenvolvimento do vetor, o período de incubação extrínseca no mosquito, a incubação intrínseca no ser humano e o tempo necessário para diagnóstico e notificação, observa-se um intervalo entre as condições ambientais favoráveis e o registro dos casos da doença. Dados epidemiológicos indicam que o efeito de variáveis climáticas, como precipitação, pode refletir no aumento de casos de dengue após aproximadamente 24 a 55 dias, correspondendo a cerca de três a oito semanas (17).

No contexto do estado da Bahia, a região do município de Teixeira de Freitas, localizada no Extremo Sul do estado, apresenta particularidades geoclimáticas que elevam sua vulnerabilidade epidemiológica. O município está inserido na Zona de Clima Tropical Brasil Central e no bioma de Mata Atlântica, sendo caracterizado como úmido e superúmido, com temperatura média anual elevada (em torno de 25 °C e 27 °C) e chuvas frequentes principalmente nos meses de novembro, dezembro, janeiro e março (18). Essas características são ideais para a proliferação do vetor (3, 10). Historicamente, conforme o Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), Teixeira de Freitas tem mantido taxas de incidência de dengue superiores à média estadual, indicando que sua população possui um risco de infecção significativamente maior do que o observado no restante do estado (19).



2. METODOLOGIA

Trata-se de um estudo ecoepidemiológico de série temporal, com abordagem quantitativa, realizado através da análise de dados do município de Teixeira de Freitas, localizado no Extremo Sul do estado da Bahia, Brasil (17°32' S; 39°44' W). Foram utilizados dados mensais referentes ao período de janeiro de 2016 a dezembro de 2025, totalizando 120 observações.

Os dados epidemiológicos, relacionados à ocorrência de dengue no município, foram obtidos a partir do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), disponibilizado pelo Ministério da Saúde (19). Para garantir a consistência da série histórica, foram incluídos todos os casos prováveis e confirmados (seja por critério laboratorial ou clínico-epidemiológico), excluindo-se os casos descartados, seguindo as diretrizes de notificação vigentes do Ministério da Saúde que mantiveram essas definições de caso padronizadas ao longo de todo o período analisado. Para o ano de 2020, devido a inconsistências no preenchimento do banco de domínio público, utilizou-se a base consolidada fornecida pela Vigilância Epidemiológica municipal.

As informações climáticas tiveram foco na pluviosidade e na temperatura. Os dados meteorológicos foram coletados em duas bases oficiais distintas: os índices de precipitação pluviométrica foram extraídos do Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (20), utilizando os registros da estação de código 1739020 (com dados computados até setembro de 2025). Para contornar a ausência de dados nos meses subsequentes e garantir a completude da série histórica até dezembro de 2025, aplicou-se a imputação de dados utilizando os registros pluviométricos obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (18), assim como os dados de temperatura média mensal. A partir disso, os dados foram organizados em série temporal mensal e foi criada a variável categórica mês, com a finalidade de representar a sazonalidade da doença.

Desta forma, as variáveis analisadas incluíram, como variável dependente, o número mensal de casos notificados de dengue, e como variáveis independentes, a precipitação total mensal (mm) e a temperatura média mensal (°C). Adicionalmente, foi calculada a taxa de incidência de dengue por 100.000 habitantes, considerando população média estimada de aproximadamente 153.000 habitantes para o município, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (21), com o objetivo de complementar a caracterização epidemiológica.

A análise dos dados foi realizada por meio de estatística descritiva das variáveis, incluindo medidas de tendência central e dispersão, tais como média, mediana, desvio padrão e valores mínimos e máximos, visando caracterizar o comportamento da série temporal e identificar



possíveis valores extremos. Foi realizada análise de correlação entre as variáveis climáticas e os casos de dengue; além de análise sem defasagem, foram testadas defasagens temporais de um e dois meses para a variável de precipitação, considerando o intervalo necessário para o desenvolvimento do vetor e a manifestação dos casos da doença (17).

Para a modelagem estatística, testou-se inicialmente o modelo de regressão de Poisson. Entretanto, a análise estatística descritiva evidenciou a presença de forte superdispersão nos dados de contagem da doença, caracterizada por uma variância ($DP = 217,89$) significativamente superior à média mensal (98,65 casos). Essa superdispersão foi confirmada estatisticamente pela avaliação do parâmetro de dispersão (Theta) e pela expressiva redução da Deviance residual. Por este motivo, optou-se pela utilização do modelo de regressão binomial negativa, que penaliza a variância excessiva e fornece estimativas mais precisas, garantindo maior robustez inferencial e melhor qualidade de ajuste aos dados. Para o controle da sazonalidade e mitigação da autocorrelação serial, optou-se pela manutenção da variável categórica “mês” no modelo principal. A verificação da autocorrelação foi realizada via análise gráfica dos resíduos, reconhecendo-se que a dependência temporal residual é uma limitação inerente aos modelos não autorregressivos. A escolha por este método paramétrico direto, em detrimento de funções matemáticas mais complexas (como modelos sazonais clássicos, *splines* temporais ou termos harmônicos de Fourier), justifica-se pela sua alta interpretabilidade em saúde pública, gerando coeficientes que facilitam diretamente o planejamento logístico das ações de vigilância vetorial por parte da gestão municipal. Considerando a ocorrência de um surto epidêmico no ano de 2024, foi realizada análise adicional excluindo esse período, com o objetivo de avaliar a estabilidade dos resultados.

Adicionalmente, para avaliar a magnitude do impacto proporcional das variáveis climáticas sobre a incidência da doença, foi estruturado um modelo de elasticidade climática. Para isso, aplicou-se a transformação logarítmica na variável resposta, utilizando a equação $\log(\text{casos}+1)$ para contornar a ocorrência matemática de meses com zero notificações. Esse modelo log-linear permitiu avaliar o incremento percentual nos casos de dengue decorrente de variações unitárias na temperatura e precipitação.

O desempenho do modelo foi avaliado por meio do Critério de Informação de Akaike (AIC), análise dos resíduos e comparação entre valores observados e estimados. Adicionalmente, foi realizada análise gráfica da série temporal dos casos de dengue ao longo do período estudado, permitindo a identificação de padrões sazonais e eventos epidêmicos. Também foi realizada a decomposição da série temporal em seus componentes de tendência, sazonalidade e variação aleatória com finalidade estritamente descritiva e exploratória visual,



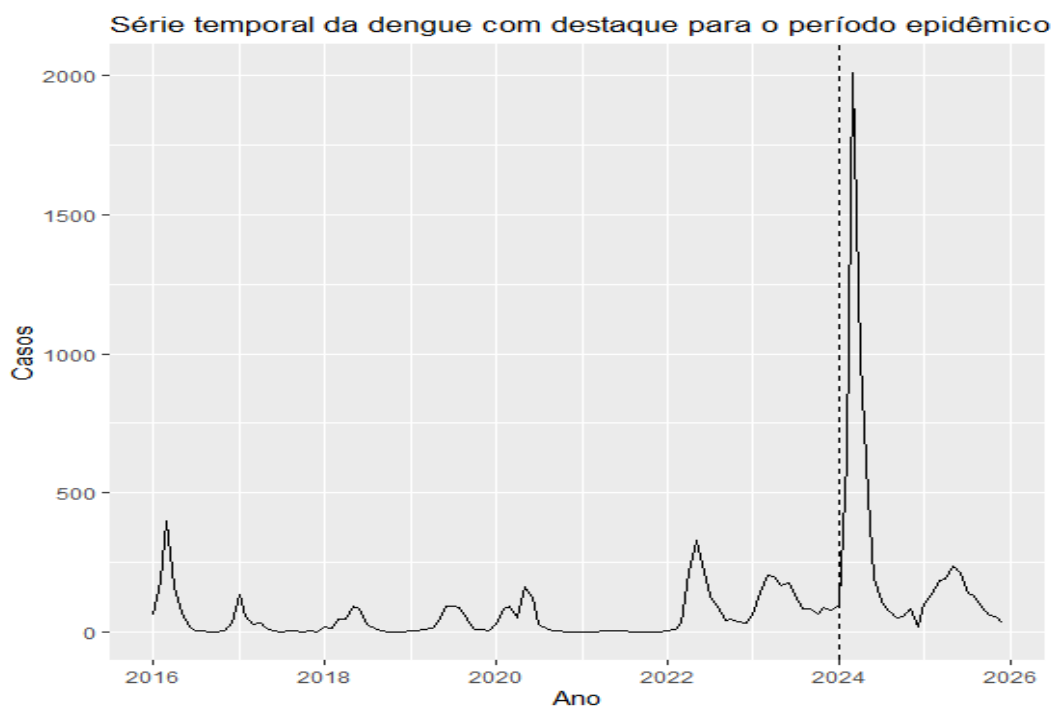
enquanto a variável categórica “mês” foi empregada exclusivamente para o ajuste estatístico e controle sazonal inferencial no modelo de regressão principal.

Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R (RStudio), utilizando funções do ambiente base e o pacote MASS para ajuste da regressão binomial negativa.

3. RESULTADOS

Durante o período analisado (2016-2025), a ocorrência mensal apresentou valor médio de 98,65 notificações (DP = 217,90), com variação entre 0 e 2.009 casos (Figura 1). Considerando a população média do município, esse volume corresponde a uma taxa de incidência média mensal de 64,5 casos por 100 mil habitantes. A distribuição dos dados evidenciou elevada variabilidade na ocorrência da dengue ao longo do período, com mediana de 45 notificações, indicando assimetria na distribuição, influenciada por períodos epidêmicos. Os maiores números de casos ocorreram no primeiro semestre de cada ano. Em 2021, o registro de casos foi baixo, com o maior número (07) observado no mês de junho. Em 2024, foi observado um surto epidêmico de dengue, com um total de 4.807 notificações, atingindo o pico no mês de março, com 2.009 casos (Figura 3).

Figura 1. Distribuição da série temporal da ocorrência mensal de casos de dengue em Teixeira de Freitas – BA, no período de janeiro de 2016 a dezembro de 2025. O gráfico evidencia a alternância entre ciclos endêmicos de baixa transmissão e eventos epidêmicos disruptivos, com destaque para a assimetria gerada pelo pico máximo de notificações registrado no primeiro semestre de 2024



Fonte: elaborado pelos autores com dados do SINAN (2026)

A precipitação média anual foi de 90,94 mm, com chuvas irregulares e que se concentram principalmente nos meses de novembro, dezembro, janeiro e março. Nos anos de 2018 e 2019 o volume de chuvas foi grande em outros períodos também, especialmente no outono. A temperatura média foi de 24,11 °C, com valores entre 20,0 °C e 28,7 °C.

A análise de correlação simples indicou associação fraca entre as variáveis no mesmo período temporal. A correlação entre a ocorrência da doença e a precipitação foi praticamente nula ($r = -0,003$), enquanto a correlação com a temperatura foi fraca ($r = 0,118$). Entretanto, ao considerar defasagem temporal, observou-se aumento na associação entre precipitação e dengue. A correlação com defasagem de um mês foi de $r = 0,141$, enquanto com dois meses atingiu $r = 0,313$, indicando maior relação entre as variáveis quando considerado o intervalo temporal.

Foi ajustado modelo de regressão binomial negativa para avaliar a associação entre variáveis climáticas e ocorrência mensal. No modelo com defasagem de dois meses e controle de sazonalidade, observou-se associação estatisticamente significativa entre precipitação e ocorrência de dengue ($p = 0,046$) (Figura 2). A análise dos efeitos estimados indicou que o aumento da precipitação esteve associado ao incremento na ocorrência de dengue (IRR = 1,003; IC 95%: 1,000–1,006), o que representa, em magnitude prática, um aumento estimado de aproximadamente 0,3% no risco de notificação da doença para cada milímetro adicional de chuva acumulada. A temperatura média não manteve significância estatística após o ajuste pela sazonalidade mensal ($p = 0,215$).

Figura 2. Comparação padronizada (Z-score) entre precipitação (linha azul) e ocorrência de dengue (linha vermelha) em Teixeira de Freitas – BA, no período de 2016 a 2025. Para permitir a sobreposição visual e a comparação direta de grandezas com escalas distintas (milímetros e número de casos), as variáveis originais foram transformadas em escores $Z = \frac{X-\mu}{\sigma}$, representando o distanciamento de cada observação em relação à sua respectiva média em desvios-padrão. O gráfico ilustra a relação temporal defasada, evidenciando que picos de precipitação tendem a anteceder os aumentos na ocorrência da doença.

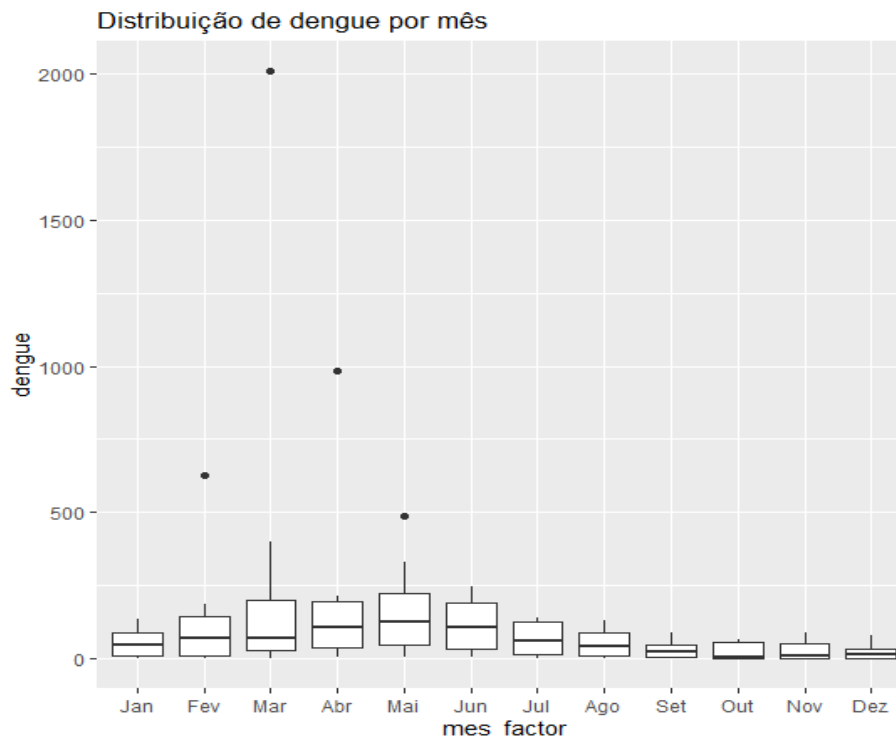


Fonte: elaborado pelos autores com dados do SINAN, ANA e INMET (2026)

A inclusão da variável mês no modelo evidenciou padrão sazonal na ocorrência de dengue, com maiores valores nos meses associados ao período mais quente e chuvoso do ano. Alguns meses apresentaram tendência de maior ocorrência da doença, ainda que nem todos tenham atingido significância estatística individual.

Por meio da análise de sensibilidade (excluído o ano de 2024, devido ao comportamento atípico), observou-se, nesse modelo, que a precipitação com defasagem de dois meses não apresentou associação estatisticamente significativa ($p > 0,05$), enquanto a variável mês manteve influência sobre a ocorrência da doença com picos de risco epidemiológico observados nos meses de março (IRR = 4,26), abril (IRR = 4,05) e maio (IRR = 3,58). Observou-se melhora no ajuste do modelo, evidenciada pela expressiva redução do valor de AIC (que passou de 1256,1 no modelo completo para 1078,7 no modelo sem 2024), indicando maior estabilidade da série sem a presença de valores extremos (Figura 3).

Figura 3. Boxplot da distribuição sazonal da ocorrência mensal de dengue em Teixeira de Freitas – BA (2016-2025). O diagrama de caixa ilustra a mediana (linha central), os quartis e a dispersão dos dados interanuais para cada mês, evidenciando o padrão de sazonalidade da doença, com maior risco epidemiológico estruturado entre março e maio, bem como a ocorrência de valores extremos (outliers) superiores decorrentes de surtos atípicos.



Fonte: elaborado pelos autores com dados do SINAN (2026)



A análise de elasticidade (logarítmica) também indicou associação positiva entre as variáveis climáticas e o número de casos de dengue. A precipitação apresentou associação estatisticamente significativa ($\beta = 0,288$; $p = 0,033$), indicando que um aumento de 1% no volume pluviométrico associa-se a um incremento proporcional de aproximadamente 0,29% nas notificações. Paralelamente, a temperatura demonstrou efeito estatístico expressivo ($\beta = 0,259$; $p < 0,001$), projetando um incremento aproximado de 29,5% nos casos de dengue para cada variação unitária de 1 °C, sugerindo que as variações climáticas influenciam fortemente a dinâmica da doença.

4. DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo evidenciam que a ocorrência de dengue em Teixeira de Freitas apresenta comportamento sazonal bem definido e associação com variáveis climáticas, especialmente quando considerada a defasagem temporal entre a exposição ambiental e o aumento dos casos. Esse padrão é amplamente descrito em regiões tropicais, onde a dinâmica da dengue está diretamente relacionada às condições meteorológicas ao longo do ano (22).

A precipitação mostrou-se associada ao aumento dos casos com defasagem de aproximadamente dois meses, indicando que o efeito da chuva não ocorre de forma imediata. Esse resultado é consistente com estudos de séries temporais realizados no Brasil, que demonstram aumento no número de casos de dengue nos meses subsequentes ao período chuvoso (23). Tal comportamento pode ser explicado pelo fato de que a chuva favorece a formação de criadouros do *Ae. aegypti*, sendo necessário um intervalo de tempo para o desenvolvimento do vetor até a fase adulta e posterior transmissão viral (17, 22).

A temperatura deve ser interpretada como um fator determinante no contexto climático local, especialmente quando analisada em conjunto com a precipitação. Em Teixeira de Freitas, os períodos mais quentes coincidem com o verão, estação caracterizada também por maior volume de chuvas, criando condições ambientais favoráveis para a proliferação do vetor. Temperaturas elevadas aceleram o ciclo biológico do mosquito e aumentam sua capacidade de transmissão, sendo descrito na literatura que faixas entre aproximadamente 25 °C e 30 °C favorecem o desenvolvimento do *Ae. aegypti* e intensificam a dinâmica de transmissão da dengue (10, 11).

Além do ciclo biológico, devem ser considerados o período de incubação extrínseca no mosquito, a incubação intrínseca no ser humano e o tempo necessário para diagnóstico e



notificação. Por conta dessa dinâmica, observa-se, em dados epidemiológicos, um intervalo entre as condições ambientais favoráveis e o registro dos casos de dengue, cujos reflexos podem ser observados após 24 a 55 dias das variações climáticas (17).

A análise conjunta das variáveis climáticas com defasagem temporal reforça a plausibilidade biológica dos achados. O intervalo observado entre as condições ambientais favoráveis e o aumento dos casos é compatível com o tempo necessário para a eclosão dos ovos, desenvolvimento larval, maturação do vetor e períodos de incubação do vírus, tanto no mosquito quanto no hospedeiro humano (1, 11, 16). Dessa forma, os resultados sugerem que a ocorrência de dengue no município está associada à interação entre condições climáticas favoráveis e o tempo necessário para a consolidação da transmissão.

A sazonalidade observada na série histórica reforça esse entendimento, com maior concentração de casos nos meses mais quentes e chuvosos. Esse padrão já foi amplamente documentado em estudos epidemiológicos no Brasil, que apontam a influência das variações sazonais de temperatura e precipitação na dinâmica da dengue (22, 23). Nesse contexto, a variável “mês” utilizada no modelo contribui para capturar esse comportamento sazonal, refletindo indiretamente as condições climáticas predominantes em cada período do ano.

A persistência da transmissão observada em Teixeira de Freitas pode estar relacionada às características climáticas locais, marcadas por elevada umidade e ausência de estação seca rigorosa. Esse achado é consistente com estudos que demonstram que a manutenção da umidade ambiental favorece a sobrevivência do vetor e dificulta a interrupção completa da transmissão nos períodos mais frios (22). Dessa forma, as condições geoclimáticas do município podem contribuir para o padrão endêmico-epidêmico identificado na presente série temporal.

Embora diversos estudos apontem associação entre variáveis climáticas e a incidência de dengue, há evidências que não identificam essa relação quando analisadas no mesmo período temporal. Estudo realizado no estado de São Paulo não encontrou correspondência direta entre o perfil pluviométrico e a incidência da doença, observando que os picos de dengue não coincidem necessariamente com os meses de maior precipitação (24). Os autores destacam que a dengue deve ser compreendida como uma doença multifatorial, não sendo diretamente dependente apenas de fatores climáticos.

Entretanto, essa divergência pode ser explicada por diferenças metodológicas entre os estudos. A ausência de associação observada pode estar relacionada à análise simultânea entre as variáveis, sem considerar a defasagem temporal entre as condições ambientais e o aumento dos casos. No presente estudo, a utilização de defasagem de dois meses permitiu identificar associação entre precipitação e ocorrência de dengue, o que é biologicamente plausível,



considerando o tempo necessário para o desenvolvimento do vetor e os períodos de incubação do vírus (17). Dessa forma, os resultados reforçam que a relação entre clima e dengue não é imediata, mas mediada por processos temporais que precisam ser incorporados à análise.

Observa-se, contudo, que o ano de 2024 apresentou comportamento atípico em relação à série histórica, com aumento expressivo no número de casos. Esse padrão não foi exclusivo do município estudado, sendo observado em todo o território brasileiro, que registrou crescimento significativo da incidência de dengue nesse período (3). Apesar da ocorrência de condições climáticas favoráveis, a magnitude do aumento não foi completamente explicada pelas variáveis analisadas, sugerindo a atuação de fatores adicionais não contemplados no modelo, como a introdução de novos sorotipos virais e a suscetibilidade imunológica da população. Esse achado reforça o caráter multifatorial da dengue, já descrito na literatura (24).

A análise de sensibilidade, ao excluir o ano de 2024, revelou o aspecto mais crítico da dinâmica local. Sem esse surto extremo, a precipitação (mesmo com defasagem temporal) perdeu significância estatística, restando apenas o forte componente sazonal endêmico. Isso indica que a dengue possui dois regimes epidemiológicos distintos: um regime endêmico regular, ditado pelas chuvas de verão no primeiro semestre, e um regime epidêmico disruptivo (como em 2024), que embora impulsionado pelo clima, depende da confluência de um arranjo multifatorial, que engloba a suscetibilidade imunológica da população e a introdução de novos sorotipos virais (24). Essa complexidade e a imprevisibilidade de surtos severos sugerem que sistemas de alerta precoce municipais devem ser interpretados com cautela e não devem se basear unicamente no monitoramento meteorológico.

Como limitações deste estudo, inerentes ao seu desenho ecológico e à qualidade secundária das bases de dados, destaca-se a potencial subnotificação de casos leves ou assintomáticos no SINAN. Adicionalmente, as restrições de uma modelagem baseada exclusivamente em variáveis meteorológicas esbarram na possível colinearidade entre os fatores climáticos e na incapacidade de capturar microclimas urbanos específicos. A ausência de controle para variáveis socioambientais e demográficas determinantes para a proliferação do vetor, como a cobertura de saneamento básico, a densidade urbana, as práticas de armazenamento domiciliar de água e a cobertura da atenção primária, restringe a capacidade do modelo de isolar totalmente outros fatores operacionais subjacentes aos grandes surtos notificados na série histórica (6, 24).



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo indica que a dinâmica da dengue em Teixeira de Freitas apresenta forte associação estatística com as variáveis climáticas, com destaque para a precipitação pluviométrica e a temperatura. Por se tratar de um estudo ecológico de série temporal, ressalta-se que os achados refletem associações em nível populacional e ambiental, não devendo ser interpretados como relações de causalidade direta. Ainda assim, a evidência estatística mais relevante foi a identificação de uma defasagem temporal de dois meses entre o pico de chuvas e o aumento no número de casos, o que é biologicamente consistente com o ciclo de desenvolvimento do vetor e o período de incubação do vírus.

Observou-se um padrão sazonal robusto, com a maior concentração de casos ocorrendo nos meses mais quentes e chuvosos, típicos do verão regional. Contudo, a análise do surto atípico de 2024 sugeriu que, embora o clima esteja fortemente associado aos ciclos da doença, a dengue é um fenômeno multifatorial. Fatores adicionais, que podem incluir a circulação de novos sorotipos ou condições socioambientais específicas, impedem que modelos exclusivamente climáticos prevejam picos epidêmicos extremos com total precisão.

Conclui-se que o intervalo de dois meses identificado oferece uma janela de oportunidade estratégica para a gestão de saúde pública municipal. Contudo, a recomendação para implementar sistemas de alerta precoce baseados em variáveis climáticas deve ser interpretada com cautela. Como evidenciado pela análise de sensibilidade, a exclusão do ano epidêmico de 2024 reduziu a significância estatística da precipitação, o que sugere uma forte dependência desse efeito climático em relação a eventos epidêmicos extremos. Portanto, recomenda-se que a vigilância não se baseie unicamente no monitoramento meteorológico, mas o utilize de forma integrada a outros indicadores em saúde para intensificar as ações de controle vetorial. Para estudos futuros, sugere-se a integração de variáveis socioeconômicas e de saneamento básico para ampliar a capacidade explicativa e preditiva dos modelos epidemiológicos.

REFERÊNCIAS

1. World Health Organization (WHO). Dengue [Internet]. Geneva: WHO; 2025 [acesso em 23 mar. 2026]. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dengue-and-severe-dengue>
2. Gould E, Pettersson J, Higgs S, Charrel R, de Lamballerie X. Emerging arboviruses: why today? *One Health*. 2017;4:1-13. DOI: 10.1016/j.onehlt.2017.06.001



3. Brasil. Ministério da Saúde. Arboviroses [Internet]. Brasília: Ministério da Saúde; 2025 [acesso em 23 mar. 2026]. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/a/arboviroses>
4. Gomes GR, Costa JBF, Ferreira JA, Santos KMS, Melo SR, Campos Neto JS, et al. Arboviroses no Brasil (2020 - 2025): tendências, determinantes e respostas de saúde pública. *Contrib Cien Soc.* 2025;18(11):1-12. DOI: 10.55905/revconv.18n.11-120
5. Cunha GM, Padilha DMM. Epidemiologia da dengue no Sudeste brasileiro. *Braz J Implantol Health Sci.* 2024;6(5):2377-2389. DOI: 10.36557/2674-8169.2024v6n5p2377-2389
6. Brady OJ, Hay SI. The global expansion of dengue: How *Aedes aegypti* mosquitoes enabled the first pandemic arbovirus. *Annu Rev Entomol.* 2020;65(1):191-208. DOI: 10.1146/annurev-ento-011019-024918
7. Ribeiro AF, Marques GRAM, Voltolini JC, Condino MLF. Associação entre incidência de dengue e variáveis climáticas. *Rev Saúde Pública.* 2006;40(4):671-676. DOI: 10.1590/S0034-89102006000500017
8. Mordecai EA, Cohen JM, Evans MV, Gudapati P, Johnson LR, Lippi CA, et al. Detecting the impact of temperature on transmission of Zika, dengue, and chikungunya using mechanistic models. *PLoS Negl Trop Dis.* 2017;11(4):e0005568. DOI: 10.1371/journal.pntd.0005568
9. Meira MCR, Nihei OK, Moschini LE, Arcoverde MAM, Britto AS, Silva Sobrinho RA, et al. Influência do clima na ocorrência de dengue em um município brasileiro de tríplice fronteira. *Cogit Enferm [Internet].* 2021 [acesso em 23 mar. 2026];26. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/ce.v26i0.76974>
10. Gomes JPM, Ribas IM, Valadares PAR, et al. Relação entre temperatura do ar e incidência de dengue: estudo de séries temporais em Minas Gerais, Brasil (2010-2019). *Cad Saude Publica.* 2024;40(3):e00076723. DOI: 10.1590/0102-311XPT076723
11. Ruiz-Polo AA, Barrera-Rivera LV. Effect of temperature on the biological cycle of *Aedes aegypti* under laboratory conditions. *Rev Peru Med Exp Salud Publica.* 2024;41(3). DOI: 10.17843/rpmesp.2024.413.13838
12. Santos PS, Lisbinski FC, Marchezini BR, Adami ACO. Influência do clima na incidência de doenças causadas pelo *Aedes aegypti* no município de Manaus-AM, Brasil. *Anais do Encontro Nacional de Economia Regional (ENABER);* 2021.
13. Sophia Y, Roxy MK, Murtugudde R, Karipot A, Sapkota A, Dasgupta P, et al. Dengue dynamics, predictions, and future increase under changing monsoon climate in India. *Sci Rep [Internet].* 2025 [acesso em 23 mar. 2026];15:1637. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-85437-w>
14. Valzania L, Mattee MT, Strand MR, Brown MR. Blood feeding activates the vitellogenic stage of oogenesis in the mosquito *Aedes aegypti* through inhibition of glycogen synthase kinase 3 by the insulin and TOR pathways. *Dev Biol.* 2019;454(1):85-95. DOI: 10.1016/j.ydbio.2019.05.011



15. Barcellos C, Matos V, Lana RM, Lowe R. Climate change, thermal anomalies, and the recent progression of dengue in Brazil. *Sci Rep* [Internet]. 2024 [acesso em 23 mar. 2026]. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56044-y>
16. Ulgheri FM, Bernardes BG, Lancellotti M. Decoding Dengue: A Global Perspective, History, Role, and Challenges. *Pathogens*. 2025;14(9):954. DOI: 10.3390/pathogens14090954
17. Cheng Q, Jing Q, Collender PA, Head JR, Li Q, Yu H, et al. Prior water availability modifies the effect of heavy rainfall on dengue transmission: a time series analysis of passive surveillance data from southern China. *Res Sq* [Preprint]. 2023. DOI: 10.21203/rs.3.rs-3302421/v1
18. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Estado do clima no Brasil em 2022 [Internet]. Brasília: INMET; 2023 [acesso em 23 mar. 2026]. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/uploads/notastecnicas/Estado-do-clima-no-Brasil-em-2022-OFICIAL.pdf>
19. Brasil. Ministério da Saúde. Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN Net) / DATASUS. Casos de Dengue - Teixeira de Freitas [Internet]. Brasília: Ministério da Saúde; 2026 [acesso em 23 mar. 2026]. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/>
20. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb): Estação 1739020 [Internet]. Brasília: ANA; 2025 [acesso em 23 mar. 2026]. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>
21. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Cidades e Estados: Teixeira de Freitas [Internet]. Rio de Janeiro: IBGE; 2026 [acesso em 23 mar. 2026]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>
22. Viana DV, Ignotti E. A ocorrência da dengue e variações meteorológicas no Brasil: revisão sistemática. *Rev Bras Epidemiol*. 2013;16(2):240-256. DOI: 10.1590/S1415-790X2013000200002
23. Silva FD, Santos AM, Corrêa RGCF, Caldas AJM. Temporal relationship between rainfall, temperature and occurrence of dengue cases in São Luís, Maranhão, Brazil. *Cien Saude Colet*. 2016;21(2):641-646. DOI: 10.1590/1413-81232015212.09592015
24. Gazzzi BC, Silva ELD, Zöllner MSAC. Relação do perfil pluviométrico com a incidência de dengue no estado de São Paulo. *Braz J Infect Dis*. 2021;25(Supl 1):101217. DOI: 10.1016/j.bjid.2020.101217