VARIABILIDADE CLIMÁTICA E ARBOVIROSES NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO: EFEITOS DE FENÔMENOS CLIMÁTICOS SOBRE A INCIDÊNCIA DOS VÍRUS DA DENGUE, ZIKA E CHIKUNGUNYA

Milene Souza Oliveira[(1)]
Mestranda em Biossistemas e Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB) e Técnica em Edificações pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA).

Endereço[(1)]**:** Rua 13 de maio, 66 - Gusmão - Eunápolis - Bahia - CEP: 45821-006 - Brasil - Tel: +55 (73) 98877-2809 - e-mail: mileneoliveira2000@hotmail.com.

RESUMO

As arboviroses representam um desafio persistente à saúde pública no Brasil, especialmente em regiões urbanas densamente povoadas. Este estudo analisou a influência do El Niño–Oscilação Sul (ENOS) na incidência do vírus da dengue, da zika e da chikungunya em seis municípios da Região Metropolitana de São Paulo (Guarulhos, Mogi das Cruzes, Osasco, Santo André, São Bernardo do Campo e São Paulo), no período de 2014 a 2024. Foram utilizados dados epidemiológicos do TabNet e dados climáticos do Dataclima e da NOAA, organizados em séries mensais e analisados no *software* RStudio. O teste de Shapiro-Wilk confirmou a não normalidade de todas as séries ($p < 0,05$), fundamentando o uso do teste de Kruskal-Wallis. Foram registrados 1.043.894 casos no período, com predominância da dengue. O teste de Kruskal-Wallis identificou diferenças significativas entre as fases do ENOS para a dengue em todos os municípios ($p < 0,05$), enquanto a zika e chikungunya apresentaram resultados heterogêneos. Os fatores socioambientais, como a infraestrutura de drenagem, saneamento e densidade demográfica mostraram-se determinantes na modulação da transmissão vetorial.

PALAVRAS-CHAVE: Saúde pública, vigilância epidemiológica, fenômenos climáticos.

INTRODUÇÃO

Entre os principais desafios enfrentados pelos sistemas de saúde pública no Brasil, destaca-se a recorrência de doenças infecciosas de origem viral transmitidas por vetores artrópodes, denominadas arboviroses, cujo potencial epidêmico e ampla distribuição geográfica as tornam objeto de preocupação crescente (Souza Fernandes *et al.*, 2024). Classificadas como doenças virais transmitidas por artrópodes (Brasil, 2025), essas doenças têm no mosquito *Aedes aegypti* seu principal agente transmissor, responsável pela disseminação dos vírus da dengue, zika e chikungunya, patógenos de relevância sanitária global (Donalisio *et al.*, 2017). A predominância dessas doenças em zonas tropicais e subtropicais decorre, em grande medida, da notável capacidade adaptativa do vetor ao ambiente urbano, onde as condições ecológicas favorecem sua reprodução e permanência (Gould *et al.,* 2017).

A transmissão das arboviroses não ocorre de forma aleatória, mas é regulada por um conjunto de determinantes ambientais e climáticos que condicionam o ciclo biológico do vetor e sua densidade populacional. Variáveis como pluviosidade, temperatura, umidade atmosférica e os processos de urbanização acelerada e mal planejada exercem papel determinante na configuração da sazonalidade e da magnitude dos surtos epidêmicos (Ribeiro *et al.,* 2015).

No que se refere à precipitação pluviométrica, estudos indicam sua correlação direta com a ocorrência de arboviroses no território brasileiro (Viana, 2013). Os regimes de chuva, tanto sua concentração quanto sua ausência, resultam de fenômenos atmosféricos que operam em diferentes escalas espaciais e temporais, desde sistemas meteorológicos locais até padrões climáticos de abrangência global, como os eventos El Niño e La Niña (Ferreira *et al.*, 2002). Esses fenômenos, cuja origem está associada a variações nas condições oceânicas e atmosféricas do Pacífico Equatorial (Grimm, 2009), repercutem igualmente sobre outros parâmetros meteorológicos de relevância epidemiológica, como a elevação da temperatura e da umidade relativa do ar (Depradine, 2004).

O El Niño caracteriza-se pelo aquecimento anômalo das águas superficiais do Pacífico Equatorial, provocando alterações significativas na circulação atmosférica global e impactando os padrões de precipitação e temperatura em diversas regiões. Suas manifestações podem se expressar tanto por meio de excessos pluviométricos, com episódios de inundação, quanto por déficits hídricos prolongados, configurando quadros de seca (Rodrigues, 2014). Em

sentido oposto, a La Niña, caracterizada pelo resfriamento anômalo das mesmas águas, tende a produzir efeitos climáticos inversos aos do El Niño, com padrões de precipitação distintos conforme a região analisada (Monteiro *et al*., 2022).

Nesse contexto, investigar de que forma as oscilações climáticas de grande escala, em especial o El Niño–Oscilação Sul (ENOS), interagem com as condições locais para modular a incidência de arboviroses revela-se uma necessidade científica e sanitária premente. A vulnerabilidade das populações urbanas a essas doenças é amplificada por fatores estruturais como elevada densidade demográfica, precariedade no saneamento básico e manejo inadequado de resíduos sólidos (Almeida *et al*., 2020; Silva *et al*., 2020), os quais potencializam os efeitos das variações climáticas sobre a dinâmica de transmissão vetorial.

Apesar da relevância do tema, a relação entre indicadores climáticos globais, como o Índice Oceânico do Niño (ONI), e a incidência de arboviroses em escala municipal permanece insuficientemente explorada na literatura científica, especialmente no contexto do estado de São Paulo. A escassez de estudos que articulem séries epidemiológicas locais com variáveis climáticas de grande escala limita a compreensão dos mecanismos que regulam a ocorrência dessas doenças em contextos urbanos heterogêneos. Diante disso, o presente estudo propõe analisar comparativamente os efeitos do ENOS sobre a ocorrência de dengue, zika e chikungunya em municípios paulistas, com vistas a preencher lacunas do conhecimento e fornecer subsídios para o aprimoramento das estratégias de vigilância epidemiológica e planejamento em saúde pública

OBJETIVO GERAL

Analisar os efeitos dos fenômenos climáticos associados ao ENOS sobre a incidência de dengue, zika e chikungunya em municípios representativos do estado de São Paulo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a distribuição temporal e espacial dos casos de dengue, zika e chikungunya nos municípios selecionados do estado de São Paulo.
- Verificar a normalidade da distribuição dos dados de incidência de arboviroses para subsidiar a escolha dos testes estatísticos adequados.
- Determinar a correlação estatística entre o ONI e a precipitação mensal com a incidência das três arboviroses nos municípios selecionados, avaliando possíveis padrões de associação.
- Comparar a incidência de arboviroses entre os municípios estudados em relação às diferentes fases do ENOS (El Niño, La Niña e Neutro), identificando variações epidemiológicas influenciadas por características climáticas, ambientais e sociodemográficas regionais.

ARBOVIROSES E O VETOR *AEDES AEGYPTI*

Denominam-se arboviroses as enfermidades de etiologia viral cuja transmissão ocorre por meio de artrópodes hematófagos, os quais inoculam partículas virais presentes na saliva no organismo do hospedeiro vertebrado durante o ato de se alimentar de sangue (Avelino-Silva, 2017). Do ponto de vista clínico, essas doenças apresentam ampla variabilidade de manifestações, abrangendo desde síndromes febris leves, até complicações sistêmicas graves com potencial evolução para óbito.

> Os principais vetores das arboviroses são os mosquitos, em particular, os gêneros Aedes, Culex, Anopheles e pelo inseto do gênero Orthobunyavirus. Eles se tornam portadores dos vírus ao picar uma pessoa infectada e, subsequentemente, passam o vírus para outras pessoas durante suas picadas (Brasil, 2025).

As arboviroses de maior relevância epidemiológica no contexto urbano brasileiro distinguem-se tanto pelos agentes etiológicos envolvidos quanto pelo perfil sintomatológico e pelo grau de severidade clínica, podendo variar de manifestações autolimitadas a quadros de maior gravidade com implicações significativas para a saúde pública. Essas características encontram-se sistematizadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais arboviroses urbanas no Brasil, seus agentes etiológicos e sintomas característicos

Arbovirose	Agente etiológico	Principais Sintomas
Dengue	Vírus da Dengue	Febre alta, dores musculares e articulares, dor de cabeça intensa
Zika	Vírus Zika	Febre baixa, erupções cutâneas, conjuntivite. Associada a complicações neurológicas, como microcefalia em fetos
Chikungunya	Vírus Chikungunya	Febre, dores articulares intensas e persistentes, que podem durar meses ou anos

Fonte: Brasil (2025).

FENÔMENOS CLIMÁTICOS DE GRANDE ESCALA

Reconhecido como o principal fator modulador da variabilidade climática em escala interanual na América do Sul (Souza, 2009), o ENOS exerce influência expressiva sobre os regimes de precipitação e temperatura em distintas regiões do território brasileiro. A identificação e classificação dos episódios associados a esse fenômeno, categorizados como El Niño, La Niña ou fase neutra, fundamenta-se, sobretudo, no ONI, índice que quantifica as anomalias térmicas da superfície oceânica no Pacífico Equatorial, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação da intensidade dos fenômenos ENOS segundo valores do ONI

Evento	Valor do ONI (°C)	Intensidade
El Niño	≥ 1,5	Forte
	1 a 1,4	Moderado
	0,5 a 0,9	Fraco
Neutralidade	-0,4 a 0,4	Neutralidade
La Niña	≤ -1,5	Forte
	-1 a -1,4	Moderado
	-0,5 a -0,9	Fraco

Fonte: Golden Gate Service, 2012.

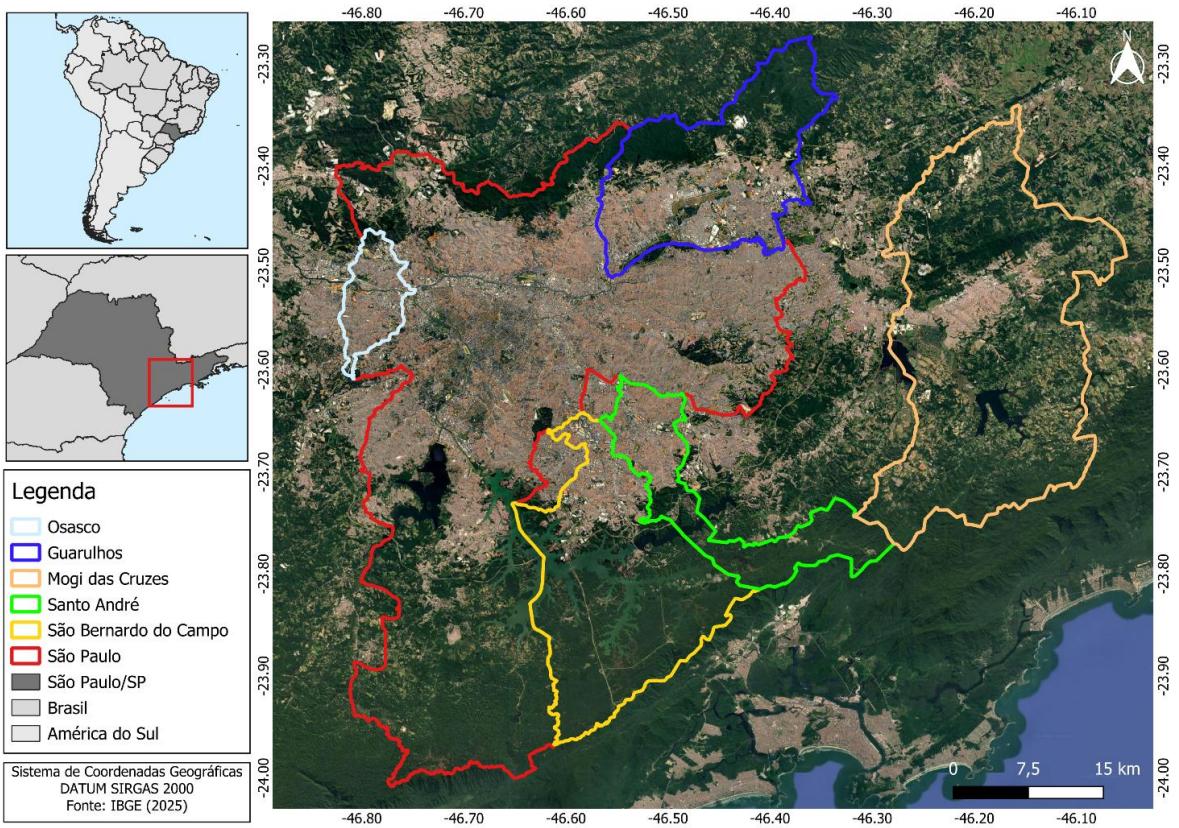
Os dados sistematizados no Quadro 1 possibilitam a categorização dos episódios do ENOS segundo sua magnitude, constituindo-se em instrumento indispensável para a interpretação dos efeitos desse fenômeno sobre o clima em escala regional e para a compreensão de como suas flutuações repercutem na dinâmica climática local.

ÁREA DE ESTUDO

A definição dos municípios integrantes do estudo baseou-se em critérios epidemiológicos e de representatividade territorial, considerando aspectos como densidade demográfica, perfil socioeconômico e localização nas distintas sub-regiões da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), viabilizando uma análise comparativa mais robusta da incidência das arboviroses entre os contextos investigados.

Os municípios selecionados (Guarulhos, Mogi das Cruzes, Osasco, Santo André, São Bernardo do Campo e São Paulo) estão distribuídos entre as sub-regiões Norte, Leste, Oeste, Sudeste e o município-sede da RMSP, localizada na região Sudeste do Brasil, no estado de São Paulo, inserida predominantemente no domínio do bioma Mata Atlântica (Figura 1). Essa composição contempla diferentes portes populacionais, perfis urbanos e graus de vulnerabilidade socioambiental, conferindo maior abrangência e consistência à análise comparativa proposta.

Figura 1 – Localização dos municípios estudados no estado de São Paulo



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do (IBGE, 2025).

O estado de São Paulo está inserido predominantemente no bioma Mata Atlântica, caracterizado por elevada biodiversidade e complexidade fitofisionômica, compreendendo Florestas Ombrófilas Densas, Abertas e Mistas, bem como Florestas Estacionais Semideciduais e Deciduais (Brasil, 2024). Do ponto de vista climático, o estado apresenta diversidade considerável, com predominância do clima subtropical úmido (Cfa) nas regiões mais ao sul e do clima tropical com inverno seco (Aw) nas porções norte e noroeste. Nas áreas serranas, ocorrem os climas temperado com verão ameno (Cfb) e subtropical de altitude (Cwb), enquanto a faixa litorânea é marcada pelo clima tropical úmido (Af), com ausência ou baixa expressividade de estação seca (Alvares *et al.,* 2013).

A RMSP, na qual se inserem os municípios analisados, está sob influência predominante do clima subtropical úmido (Cwa/Cfa), com verões quentes e chuvosos e invernos secos e amenos. A pluviosidade média anual varia entre 1.200 e 1.800 mm, com concentração das chuvas entre os meses de outubro e março (Alvares *et al.*, 2013). Esse regime climático, aliado à elevada densidade urbana e à precariedade de saneamento em parcelas do território metropolitano, cria condições propícias à proliferação do *Aedes aegypti* e, consequentemente, à transmissão de arboviroses.

Os municípios selecionados (São Paulo, Guarulhos, Osasco, Santo André, São Bernardo do Campo e Mogi das Cruzes) apresentam perfis urbanos e sociodemográficos distintos entre si, distribuindo-se por diferentes sub-regiões da RMSP. São Paulo, como município-sede e maior metrópole do hemisfério sul, concentra elevada densidade populacional e intensa dinâmica de circulação de pessoas. Guarulhos, segundo maior município da região, destaca-se pela presença do principal aeroporto internacional do país, fator relevante para a dispersão de patógenos. Osasco representa o polo industrial da sub-região Oeste, com perfil urbano densamente ocupado. Santo André integra o conjunto do ABC Paulista, caracterizado por histórico industrial e diversidade socioeconômica. São Bernardo do Campo, também pertencente ao ABC, combina áreas industriais consolidadas com extensas zonas de proteção ambiental. Por fim, Mogi das Cruzes, situada na sub-região

Leste, apresenta características periurbanas e interface com áreas de remanescentes de Mata Atlântica, conferindo particularidades ambientais relevantes para a análise proposta.

DADOS DE ARBOVIROSES

Os registros epidemiológicos das arboviroses dengue, zika e chikungunya foram extraídos da plataforma TabNet do DATASUS, sistema de tabulação de acesso público que organiza e disponibiliza informações do Sistema Único de Saúde (SUS). A extração foi realizada com base no município de notificação, com os dados estruturados por mês e ano de ocorrência. Em razão das distintas janelas de disponibilidade histórica de cada agravo, as análises foram conduzidas respeitando os períodos específicos de cada série temporal:

- Vírus da dengue: dados disponíveis a partir de 2014;
- Vírus da zika: dados disponíveis a partir de 2016;
- Vírus da chikungunya: dados disponíveis a partir de 2023.

Para cada um dos seis municípios integrantes do estudo, foram consolidados os totais mensais de casos confirmados. As séries epidemiológicas assim obtidas foram subsequentemente integradas às séries pluviométricas, utilizando como chave de vinculação a correspondência entre o município e o respectivo mês e ano de registro. Os meses sem ocorrência de notificações foram identificados como NA e excluídos das análises estatísticas.

DADOS CLIMÁTICOS

As séries históricas de precipitação empregadas neste estudo foram obtidas junto à plataforma Dataclima, compreendendo registros de precipitação total diária para os mesmos municípios selecionados para a análise epidemiológica, abrangendo o período de 2014 a 2024. Os dados disponibilizados correspondem à soma das precipitações diárias registradas pelas estações meteorológicas situadas em cada município, resultando em valores de precipitação total acumulada por dia, os quais foram posteriormente agregados em escala mensal para fins de integração com as demais séries analisadas.

CLASSIFICAÇÃO DA OCORRÊNCIA DOS EVENTOS CLIMÁTICOS

Os valores do ONI foram obtidos junto à *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), disponibilizados pelo *Climate Prediction Center* (CPC), abrangendo o período de 2014 a 2024. A categorização dos episódios em El Niño, La Niña e fase neutra fundamentou-se nos critérios definidos pelo Golden Gate Weather Service (2012), os quais estabelecem os limiares de intensidade de cada fase com base nas anomalias térmicas da superfície oceânica na região Niño 3.4, parâmetro de referência amplamente consolidado na literatura climatológica internacional.

ANÁLISE DOS DADOS

O processamento e a análise estatística dos dados foram conduzidos no ambiente do *software* Rstudio, com auxílio de pacotes específicos da linguagem R. A organização e manipulação das bases de dados foram realizadas com os pacotes *dplyr* e *tidyr,* a importação dos arquivos com o pacote *readxl,* a aplicação dos testes estatísticos com o pacote *rstatix* e a construção das representações gráficas com o pacote ggplot2.

Previamente, foi aplicado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk para verificar a adequação da distribuição dos dados epidemiológicos e climáticos, adotando-se nível de significância de $p = 0,05$. Ante a identificação de séries com distribuição não normal, foram incorporadas análises não paramétricas complementares.

A comparação da distribuição dos casos de dengue, zika e chikungunya entre as distintas fases do ENOS (El Niño, La Niña e neutralidade climática) foi realizada por meio do teste de Kruskal-Wallis, procedimento adequado para a identificação de diferenças estatisticamente significativas entre grupos independentes. Os resultados foram interpretados com base nos valores de p, sendo adotado o limiar de 0,05 como critério de significância estatística.

Os valores ausentes (NA), referentes a meses sem registro de notificação, foram previamente identificados e removidos das análises, com vistas a prevenir distorções nos cálculos dos testes e das correlações. Os valores extremos identificados nas séries foram preservados, por corresponderem a picos epidêmicos genuínos, característicos de séries temporais epidemiológicas, não sendo, portanto, interpretados como erros amostrais.

A caracterização visual dos padrões de associação entre o ONI e a incidência das arboviroses foi realizada por meio de gráficos do tipo *boxplot* e *violin* para examinar a distribuição dos casos segundo cada fase do ENOS. Os *boxplots* permitiram identificar mediana, amplitude interquartílica e a presença de valores discrepantes, ao passo que os gráficos *violin* possibilitaram a visualização da densidade de probabilidade das distribuições, ampliando a capacidade interpretativa dos padrões epidemiológicos observados sob diferentes condições climáticas.

CARACTERIZAÇÃO DA INCIDÊNCIA DE ARBOVIROSES

No período compreendido entre 2014 e 2024, foram registrados 1.043.894 casos de arboviroses nos seis municípios analisados. Entre as doenças investigadas, a dengue apresentou a maior prevalência, dispondo também do maior período de série histórica disponível, seguida pela zika e pela chikungunya, evidenciando a predominância histórica do vírus da dengue na dinâmica epidemiológica regional, conforme apontado por Avelino-Silva (2017).

A análise dos casos acumulados evidencia diferenças espaciais expressivas entre os municípios estudados, associadas não apenas a fatores climáticos, mas também à densidade demográfica, à dinâmica urbana e às condições socioambientais locais. São Paulo concentrou a maior parte dos registros, com 836.513 casos, correspondendo a aproximadamente 80% do total notificado no conjunto dos municípios analisados. Esse volume expressivo reflete, em grande medida, o porte populacional da capital (com mais de 11 milhões de habitantes), bem como sua complexidade urbana e a maior capacidade de detecção e notificação de casos. Guarulhos aparece em segundo lugar, com 106.833 registros, seguido por Osasco (30.585), São Bernardo do Campo (26.503), Mogi das Cruzes (23.662) e Santo André (19.798), conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Casos acumulados de arboviroses por município no período de 2014 a 2024

Município	População	Densidade populacional	Casos Totais
Guarulhos	1.291.771 hab	4.053,57 hab/km²	106.833
Mogi das Cruzes	451.505 hab	633,65 hab/km²	23.662
Osasco	728.615 hab	11.217,40 hab/km²	30.585
Santo André	748.919 hab	4.260,50 hab/km²	19.798
São Bernardo do Campo	810.729 hab	1.979,65 hab/km²	26.503
São Paulo	11.451.999 hab	7.528,26 hab/km²	836.513

Fonte: IBGE (2022); TabNet (2014 a 2024).

Contudo, a análise dos valores absolutos isoladamente não é suficiente para caracterizar a vulnerabilidade epidemiológica de cada município. Embora São Paulo tenha concentrado o maior número de casos, a avaliação proporcional à densidade demográfica e ao porte populacional revela dinâmicas distintas entre os municípios analisados. Osasco, por exemplo, apresentou a maior densidade demográfica do conjunto (11.217,40 hab/km²) e registrou 30.585 casos, superando municípios mais populosos, como Santo André e Mogi das Cruzes. Da mesma forma, Guarulhos, com densidade de 4.053,57 hab/km², também apresentou carga expressiva de casos em relação ao seu tamanho populacional. Esses resultados sugerem que fatores além do porte populacional,

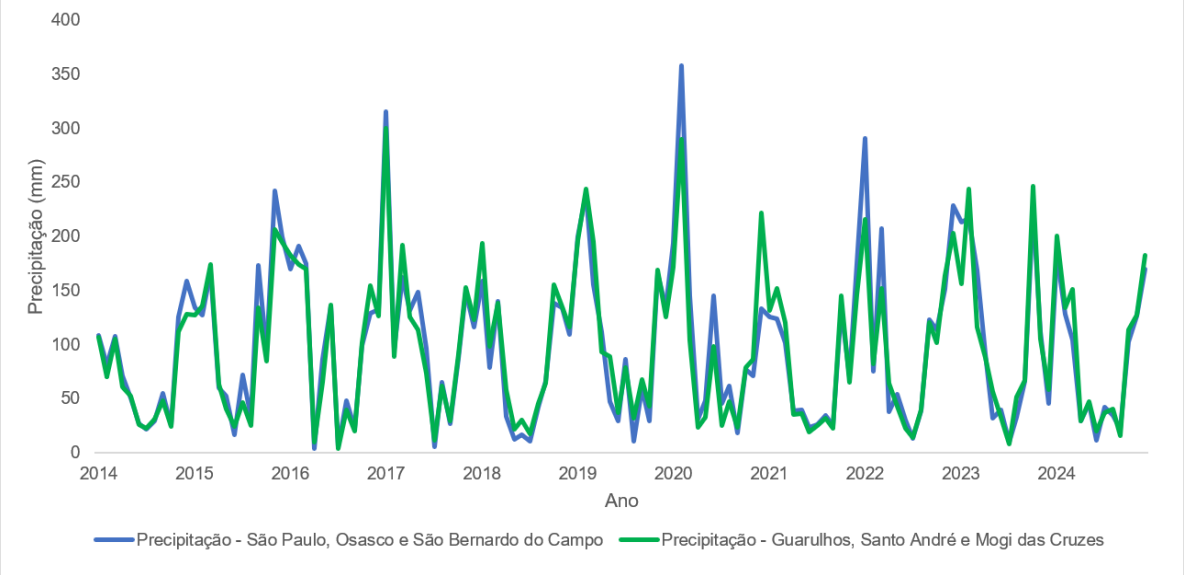
como a elevada concentração de habitantes em áreas urbanas densas, condições de saneamento, infraestrutura urbana, manejo de resíduos sólidos e capacidade de vigilância epidemiológica local, desempenham papel determinante na manutenção e proliferação do vetor Aedes aegypti, influenciando diretamente a incidência das arboviroses.

Em sentido oposto, Mogi das Cruzes, que apresenta a menor densidade demográfica do conjunto (633,65 hab/km²) e características periurbanas com interface com remanescentes de Mata Atlântica, registrou 23.662 casos, evidenciando que a fragmentação do ambiente urbano e a presença de áreas verdes não necessariamente configuram fator de proteção frente à transmissão vetorial, especialmente quando associadas a infraestrutura urbana deficiente. Esses resultados reforçam que a incidência das arboviroses é determinada por um conjunto multifatorial de condicionantes, no qual aspectos climáticos, demográficos e socioambientais interagem de forma complexa na modulação do risco epidemiológico.

ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO MENSAL ACUMULADA (2014 A 2024) NOS MUNICÍPIOS ESTUDADOS

A série temporal de precipitação mensal acumulada entre 2014 e 2024 (Figura 2) evidencia o comportamento pluviométrico dos municípios estudados, inseridos na Região Metropolitana de São Paulo sob influência predominante do clima subtropical úmido. De maneira geral, o padrão pluviométrico revela sazonalidade marcada, com concentração das chuvas nos meses de verão (outubro a março) e redução expressiva nos meses de inverno (abril a setembro), característica típica do regime climático regional.

Figura 2 - Precipitação mensal acumulada entre 2014 a 2024 nos municípios estudados



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Dataclima (2014 a 2024).

Os municípios foram agrupados em duas séries. Esse agrupamento reflete igualdade nos padrões pluviométricos locais, decorrentes da proximidade geográfica e das características do relevo metropolitano. De maneira geral, ambos os grupos apresentam comportamento sazonal semelhante, com picos de precipitação recorrentes nos períodos chuvosos e quedas acentuadas nos meses secos. Entre os episódios mais expressivos, destaca-se o pico registrado em 2020, quando São Paulo, Osasco e São Bernardo do Campo atingiram valores próximos a 360 mm, e o grupo de Guarulhos, Santo André e Mogi das Cruzes alcançou acumulados em torno de 245 mm no mesmo período. Esse episódio coincide com a atuação de um evento La Niña, que tende a intensificar as chuvas na região Sudeste do Brasil durante determinadas fases do fenômeno.

Outros picos relevantes foram observados em 2017 e 2022, quando ambos os grupos registraram acumulados

mensais superiores a 300 mm e 290 mm, respectivamente, intercalados por períodos de redução pluviométrica acentuada, com valores próximos a zero, especialmente entre 2018 e 2019. Essa alternância entre episódios de excesso hídrico e períodos de estiagem é epidemiologicamente relevante, pois tanto o acúmulo de água em recipientes artificiais durante os picos chuvosos quanto o armazenamento domiciliar em períodos secos constituem condições favoráveis à proliferação do *Aedes aegypti* e, consequentemente, à transmissão de arboviroses.

TESTE DE NORMALIDADE DOS DADOS (SHAPIRO-WILK)

Os resultados do teste de normalidade de Shapiro-Wilk demonstram que os dados de incidência de arboviroses nos municípios analisados não seguem distribuição normal, conforme indicado pelos valores de p apresentados na Tabela 3, todos inferiores ao limiar de significância adotado ($p < 0,05$).

Tabela 3 - Valores de p do Teste de Shapiro–Wilk para avaliação da normalidade das séries epidemiológicas

Arbovirose	Município	p-normalidade
Dengue	Guarulhos	$1,22\times10^{-22}$
	Mogi das Cruzes	$9,50\times10^{-24}$
	Osasco	$1,11\times10^{-22}$
	Santo André	$3,04\times10^{-23}$
	São Bernardo do Campo	$1,39\times10^{-22}$
	São Paulo	$2,31\times10^{-23}$
Chikungunya	Guarulhos	$9,32\times10^{-4}$
	Mogi das Cruzes	$6,09\times10^{-5}$
	Osasco	$6,71\times10^{-5}$
	Santo André	$9,81\times10^{-6}$
	São Bernardo do Campo	$1,39\times10^{-22}$
	São Paulo	$2,31\times10^{-23}$
Zika vírus	Guarulhos	$9,37\times10^{-19}$
	Mogi das Cruzes	$5,95\times10^{-21}$
	Osasco	$9,07\times10^{-21}$
	Santo André	$2,39\times10^{-18}$
	São Bernardo do Campo	$3,06\times10^{-21}$
	São Paulo	$1,45\times10^{-18}$

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do TabNet (2014 a 2024).

Para o vírus da dengue, todos os municípios apresentaram valores de p situados entre 10^{-22} e 10^{-24}, confirmando que a distribuição dos casos se afasta substancialmente da normalidade. Esse comportamento é característico de séries epidemiológicas longas, marcadas por elevada variabilidade temporal, presença de picos epidêmicos abruptos e períodos de baixa ou nula notificação, fatores que resultam em distribuições acentuadamente assimétricas.

Para o vírus da chikungunya, todos os municípios também apresentaram valores de p inferiores a 0,05, rejeitando a hipótese de normalidade. Os valores mais próximos do limiar foram observados em Guarulhos ($p = 9,32\times10^{-4}$), ainda assim expressivamente abaixo do critério adotado. Essa não normalidade pode estar associada ao curto período de disponibilidade da série histórica dessa arbovirose (com dados a partir de 2023), o que resulta em séries temporais reduzidas, com distribuições assimétricas decorrentes da fase inicial de dispersão do agravo nos municípios analisados.

Em relação ao vírus da zika, o padrão se repete, com todos os municípios apresentando valores de p muito abaixo de 0,05, variando entre 10^{-18} e 10^{-21}. Esses valores extremamente reduzidos confirmam distribuições marcadamente não normais, típicas de séries epidemiológicas com grandes flutuações interanuais e concentração de casos em períodos específicos, como o observado durante o surto de zika de 2015 e 2016 no

Brasil. Diante da rejeição generalizada da hipótese de normalidade para as três arboviroses e em todos os municípios, a adoção de testes não paramétricos nas análises subsequentes mostrou-se estatisticamente adequada e necessária.

TESTE DE KRUSKAL-WALLIS

A aplicação do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis permitiu avaliar se a distribuição dos casos de arboviroses variou de forma significativa entre as diferentes fases do ONI para cada município analisado (Tabela 4). Essa abordagem foi necessária porque os testes prévios de normalidade evidenciaram que as séries temporais de casos não seguem distribuição normal, inviabilizando o uso de testes paramétricos como a ANOVA.

Tabela 4 - Resultados do teste de Kruskal-Wallis para avaliação de variações nos casos de arboviroses entre fases do ONI em cada município

Arbovirose	Município	p-Kruskal-Wallis
Dengue	Guarulhos	$5{,}53\times10^{-5}$
	Mogi das Cruzes	$1{,}98\times10^{-2}$
	Osasco	$3{,}77\times10^{-3}$
	Santo André	$9{,}33\times10^{-5}$
	São Bernardo do Campo	$1{,}68\times10^{-4}$
	São Paulo	$3{,}71\times10^{-3}$
Chikungunya	Guarulhos	$1{,}02\times10^{-1}$
	Mogi das Cruzes	$9{,}76\times10^{-2}$
	Osasco	$4{,}46\times10^{-1}$
	Santo André	$1{,}11\times10^{-1}$
	São Bernardo do Campo	$2{,}00\times10^{-1}$
	São Paulo	$1{,}64\times10^{-2}$
Zika vírus	Guarulhos	$1{,}71\times10^{-1}$
	Mogi das Cruzes	$4{,}00\times10^{-2}$
	Osasco	$8{,}93\times10^{-1}$
	Santo André	$6{,}52\times10^{-1}$
	São Bernardo do Campo	$1{,}60\times10^{-1}$
	São Paulo	$3{,}60\times10^{-1}$

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do TabNet (2014 a 2024).

Para a dengue, todos os municípios apresentaram valores de p inferiores ao limiar de significância adotado ($p < 0{,}05$), indicando que a distribuição dos casos variou de forma estatisticamente significativa entre as fases do ONI. Os valores mais expressivos foram observados em Guarulhos ($p = 5{,}53\times10^{-5}$) e Santo André ($p = 9{,}33\times10^{-5}$), seguidos por São Bernardo do Campo ($p = 1{,}68\times10^{-4}$), Osasco ($p = 3{,}77\times10^{-3}$), São Paulo ($p = 3{,}71\times10^{-3}$) e Mogi das Cruzes ($p = 1{,}98\times10^{-2}$). Esses resultados sugerem que as fases do ENOS exercem influência estatisticamente detectável sobre a distribuição dos casos de dengue na região metropolitana, possivelmente por meio de alterações nos padrões de temperatura e precipitação que modulam a densidade vetorial e o período de transmissão.

Para a chikungunya, o padrão foi distinto. A maioria dos municípios apresentou valores de p superiores a 0,05, indicando ausência de diferenças estatisticamente significativas entre as fases do ONI. Os valores variaram entre $p = 9{,}76\times10^{-2}$ (Mogi das Cruzes) e $p = 4{,}46\times10^{-1}$ (Osasco), com exceção de São Paulo, que registrou $p = 1{,}64\times10^{-2}$, único município em que a diferença entre as fases do ONI atingiu significância estatística para essa arbovirose. Esse resultado deve ser interpretado com cautela, tendo em vista o curto período de disponibilidade da série histórica da Chikungunya (iniciada em 2023), o que limita a robustez das inferências estatísticas.
Para a zika, os resultados também indicaram, em sua maior parte, ausência de significância estatística. Com exceção de Mogi das Cruzes ($p = 4{,}00\times10^{-2}$), todos os demais municípios apresentaram valores de p superiores a 0,05, variando entre $p = 1{,}60\times10^{-1}$ (São Bernardo do Campo) e $p = 8{,}93\times10^{-1}$ (Osasco). Esse

padrão sugere que, na maior parte dos municípios analisados, a distribuição dos casos de zika não apresentou associação estatisticamente significativa com as fases do ONI, possivelmente em razão da concentração dos casos em um período epidêmico específico (o surto de 2015 e 2016), que tende a sobrepor-se aos efeitos climáticos interanuais associados ao ENOS, conforme apontado por Depradine (2004).

ANÁLISE DAS DIFERENÇAS ENTRE MUNICÍPIOS PARA CADA ARBOVIROSE E FASE DO ONI ATRAVÉS DO TESTE DE KRUSKAL-WALLIS

A partir da aplicação do teste de Kruskal-Wallis, avaliou-se se o número de casos das três arboviroses diferiu significativamente entre os municípios dentro de cada fase do ONI, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados do teste de Kruskal-Wallis para comparação do número de casos de arboviroses entre municípios em cada fase do ONI

Fase do ONI	Arbovirose	p-Kruskal-Wallis
La Niña	Dengue	$7{,}92\times10^{-23}$
Neutra		$5{,}47\times10^{-21}$
El Niño		$4{,}02\times10^{-10}$
La Niña	Chikungunya	NA
Neutra		$1{,}20\times10^{-23}$
El Niño		$2{,}05\times10^{-2}$
La Niña	Zika vírus	$4{,}32\times10^{-25}$
Neutra		$6{,}44\times10^{-26}$
El Niño		$6{,}99\times10^{-16}$

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do TabNet (2014 a 2024).

Para a dengue, todas as fases do ONI apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os municípios, com valores de p muito inferiores ao limiar de 0,05. O resultado mais expressivo foi observado na fase La Niña ($p = 7{,}92\times10^{-23}$), seguido pela fase Neutra ($p = 5{,}47\times10^{-21}$) e pela fase El Niño ($p = 4{,}02\times10^{-10}$). Esses resultados indicam que, independentemente da fase climática, a distribuição dos casos de dengue entre os municípios da RMSP é heterogênea, refletindo diferenças locais em densidade demográfica, infraestrutura urbana, cobertura de vigilância epidemiológica e condições socioambientais. A magnitude ligeiramente menor do p-valor na fase El Niño, embora ainda altamente significativa, pode sugerir uma relativa homogeneização da distribuição espacial dos casos durante episódios de aquecimento oceânico, quando fatores climáticos regionais tendem a exercer influência mais uniforme sobre o território metropolitano.

Para a chikungunya, o valor de p na fase La Niña foi identificado como NA, o que se deve à ausência de registros dessa arbovirose nesse período, tendo em vista que sua série histórica tem início em 2023, não abrangendo episódios de La Niña no intervalo analisado. Nas fases Neutra e El Niño, foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os municípios, com $p = 1{,}20\times10^{-23}$ e $p = 2{,}05\times10^{-2}$, respectivamente. Esses resultados indicam que, nas condições climáticas associadas à neutralidade e ao El Niño, os municípios apresentam comportamentos epidemiológicos distintos para a chikungunya, sugerindo que o impacto das variações climáticas sobre essa arbovirose pode ser mais perceptível quando o sistema ENOS encontra-se em estado neutro ou de aquecimento.

Para a zika, todas as fases do ONI apresentaram diferenças altamente significativas entre os municípios, com os menores valores de p entre as três arboviroses analisadas. A fase Neutra registrou $p = 6{,}44\times10^{-26}$, seguida pela fase La Niña ($p = 4{,}32\times10^{-25}$) e pela fase El Niño ($p = 6{,}99\times10^{-16}$). Esses resultados demonstram que a distribuição espacial dos casos de zika entre os municípios da RMSP é marcadamente heterogênea em todas as fases climáticas, indicando que fatores locais (como densidade populacional, mobilidade urbana, cobertura de imunidade e saneamento) exercem papel preponderante na modulação da incidência dessa arbovirose, independentemente das condições impostas pelo ENOS.

ANÁLISE DAS DIFERENÇAS ENTRE ARBOVIROSES PARA CADA MUNICÍPIO E FASE DO ONI ATRAVÉS DO TESTE DE KRUSKAL-WALLIS

O teste de Kruskal-Wallis foi empregado para avaliar se, em cada município e em cada fase climática do ONI, há diferenças significativas no número de casos entre as três arboviroses estudadas, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultados do teste de Kruskal-Wallis para diferenças entre arboviroses nos municípios em cada fase do ONI

Fase do ONI	Município	p-Kruskal-Wallis
La Niña	Guarulhos	$1{,}756\times10^{-12}$
Neutra		$6{,}908\times10^{-19}$
El Niño		$1{,}573\times10^{-10}$
La Niña	Mogi das Cruzes	$6{,}848\times10^{-10}$
Neutra		$4{,}463\times10^{-19}$
El Niño		$3{,}319\times10^{-8}$
La Niña	Osasco	$5{,}558\times10^{-12}$
Neutra		$4{,}673\times10^{-16}$
El Niño		$9{,}140\times10^{-11}$
La Niña	Santo André	$1{,}483\times10^{-9}$
Neutra		$1{,}844\times10^{-15}$
El Niño		$6{,}259\times10^{-12}$
La Niña	São Bernardo do Campo	$5{,}376\times10^{-15}$
Neutra		$4{,}451\times10^{-21}$
El Niño		$4{,}343\times10^{-11}$
La Niña	São Paulo	$2{,}406\times10^{-14}$
Neutra		$1{,}019\times10^{-19}$
El Niño		$2{,}722\times10^{-11}$

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do TabNet (2014 a 2024).

Os resultados revelam que, em todos os municípios analisados e em todas as fases do ONI, as diferenças no número de casos entre as três arboviroses são altamente significativas, com valores de p muito inferiores ao limiar de 0,05 (frequentemente na ordem de 10^{-10} a 10^{-21}). Esse padrão uniforme indica forte heterogeneidade epidemiológica entre dengue, zika e chikungunya em toda a RMSP, independentemente da fase climática imposta pelo ENOS.

Essa heterogeneidade reflete, sobretudo, as diferenças históricas de introdução, circulação e endemicidade de cada arbovirose na região. A dengue, com décadas de circulação endêmica, acumula volumes de casos substancialmente superiores aos das demais doenças, enquanto a zika concentrou seus registros em um surto epidêmico delimitado temporalmente e a chikungunya apresenta série histórica ainda incipiente no período analisado. Essa assimetria estrutural entre as séries temporais das três arboviroses é, por si só, suficiente para gerar diferenças estatisticamente significativas, independentemente das condições climáticas vigentes.

Entre os municípios, São Bernardo do Campo e São Paulo registraram os menores valores de p na fase Neutra, $4{,}451\times10^{-21}$ e $1{,}019\times10^{-19}$, respectivamente, sugerindo que, sob condições climáticas sem perturbação do ENOS, o contraste entre as arboviroses é mais acentuado nessas localidades. De forma análoga, a fase El Niño tende a apresentar valores de p ligeiramente maiores em relação às demais fases, embora ainda altamente significativos, o que pode indicar uma discreta redução na heterogeneidade entre as arboviroses durante episódios de aquecimento oceânico, possivelmente associada a alterações nos padrões climáticos regionais que afetam de forma mais homogênea a transmissão vetorial. De maneira geral, os resultados reforçam que a distribuição dos casos entre as três arboviroses é estruturalmente distinta em todos os municípios da RMSP, sendo esse padrão robusto e independente das oscilações climáticas associadas ao ENOS.

DISTRIBUIÇÃO DOS CASOS POR FENÔMENO CLIMÁTICO

A distribuição dos casos de arboviroses segundo as fases do ENOS revela padrões epidemiológicos distintos entre os municípios analisados. A fase El Niño concentrou o maior volume de casos do período, totalizando 610.548 registros, o que corresponde a aproximadamente 59% do total acumulado entre 2014 e 2024. São Paulo respondeu por 476.094 casos durante o El Niño, seguido por Guarulhos (75.516), Mogi das Cruzes (16.730), Osasco (16.209), São Bernardo do Campo (14.568) e Santo André (11.431).

Durante a fase La Niña, foram registrados 27.203 casos no conjunto dos municípios, volume substancialmente inferior às demais fases. São Paulo novamente concentrou a maior parte dos registros (23.193), seguido por Guarulhos (1.775), São Bernardo do Campo (920), Osasco (608), Mogi das Cruzes (366) e Santo André (341). A ausência de registros de chikungunya nessa fase decorre do fato de que a série histórica dessa arbovirose tem início em 2023, período que não abrangeu episódios de La Niña no intervalo analisado.

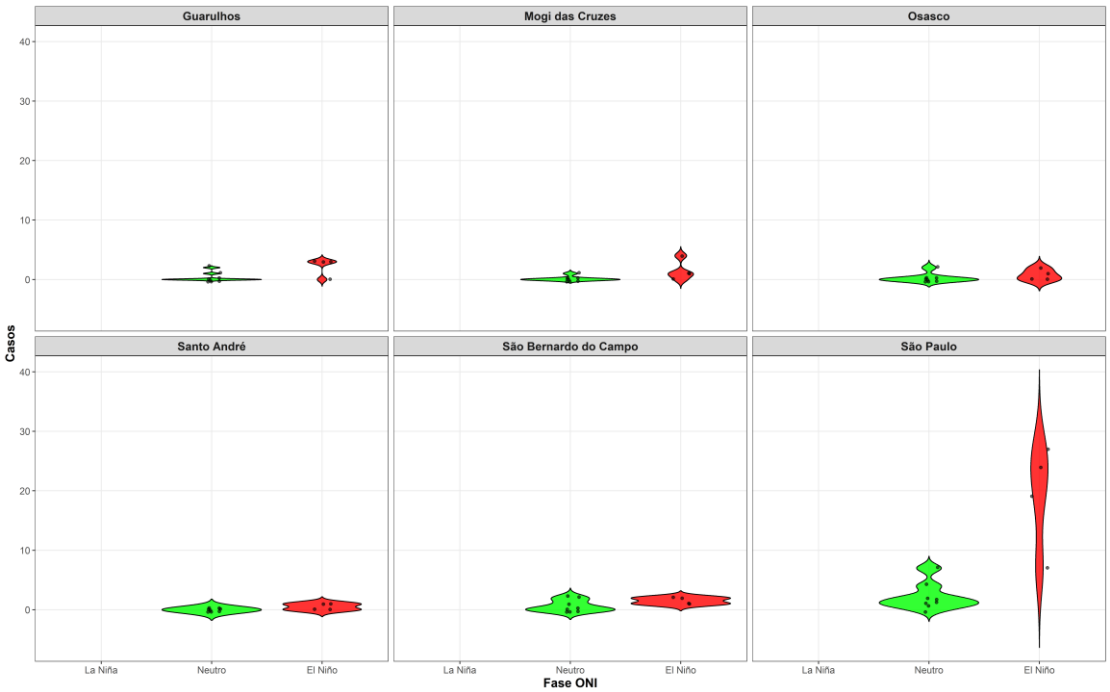
Na fase Neutra, foram contabilizados 406.143 casos, com distribuição proporcional semelhante à observada nas demais fases. São Paulo concentrou 337.226 registros, seguido por Guarulhos (29.542), Osasco (13.768), São Bernardo do Campo (11.015), Mogi das Cruzes (6.566) e Santo André (8.026).

Em todos os cenários climáticos, São Paulo domina os totais absolutos em razão de seu porte populacional. Contudo, ao se considerar a proporção de casos em relação à população de cada município, Guarulhos e Mogi das Cruzes destacam-se por apresentar cargas proporcionalmente elevadas, sugerindo que fatores locais — como infraestrutura de saneamento, densidade de criadouros e capacidade de vigilância vetorial — modulam a vulnerabilidade epidemiológica de forma independente das condições climáticas impostas pelo ENOS.

RELAÇÃO DO ENOS E O VÍRUS DA CHIKUNGUNYA

A análise da distribuição dos casos de chikungunya segundo as fases do ENOS (Figura 3) revela padrões distintos entre os municípios, com destaque para a expressiva assimetria observada em São Paulo em relação às demais localidades.

Figura 3 – Influência das fases do ONI na dinâmica dos casos de Chikungunya



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do TabNet (2014 a 2024); NOAA (2014 a 2024).

Durante a fase La Niña, todos os municípios apresentaram ausência de registros, representada graficamente pela inexistência de violinos nessa fase. Esse resultado decorre diretamente da limitação temporal da série histórica da chikungunya, disponível apenas a partir de 2023, período que não abrangeu episódios de La Niña no intervalo analisado, impossibilitando qualquer inferência sobre o comportamento dessa arbovirose sob as condições climáticas dessa fase.

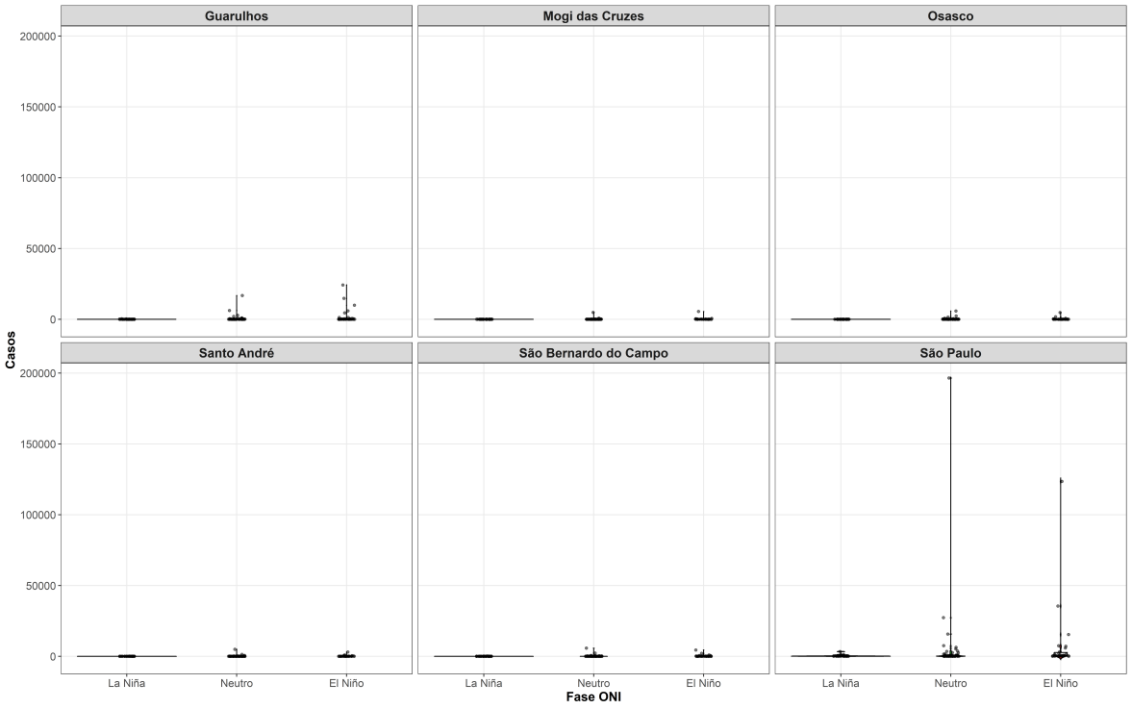
Na fase Neutra, observa-se o surgimento de distribuições de baixa amplitude em todos os municípios, com valores concentrados próximos de zero e dispersão reduzida. Guarulhos, Mogi das Cruzes, Osasco, Santo André e São Bernardo do Campo apresentam violinos achatados e simétricos, indicando homogeneidade na distribuição dos poucos casos registrados. São Paulo, por sua vez, já exibe nessa fase uma distribuição ligeiramente mais ampla, com alguns valores medianos que se distanciam do zero, sugerindo que a capital concentra maior volume de casos mesmo sob condições climáticas sem perturbação do ENOS, o que pode refletir sua maior densidade populacional e complexidade urbana.

Durante o El Niño, o contraste entre São Paulo e os demais municípios torna-se particularmente evidente. Enquanto Guarulhos, Mogi das Cruzes, Osasco, Santo André e São Bernardo do Campo mantêm distribuições de amplitude modesta (com valores ainda próximos de zero e presença de alguns pontos isolados), São Paulo apresenta um violino de amplitude expressivamente superior, com casos que atingem valores próximos a 40, além de concentração de pontos na faixa intermediária entre 5 e 20 casos mensais. Esse padrão sugere que, durante episódios de El Niño (associados a temperaturas mais elevadas e alterações no regime pluviométrico), a transmissão de chikungunya em São Paulo é amplificada de forma desproporcionalmente intensa em relação aos demais municípios, possivelmente em razão da maior densidade de hospedeiros suscetíveis, da extensão territorial e da heterogeneidade socioambiental da capital.

RELAÇÃO DO ENOS E O VÍRUS DA DENGUE

A dengue apresenta a maior amplitude e variabilidade entre as arboviroses analisadas (Figura 4), evidenciando seu caráter endêmico consolidado na Região Metropolitana de São Paulo e sua dependência de múltiplos fatores ambientais, demográficos e antropogênicos para a modulação da intensidade dos surtos.

Figura 4 – Influência das fases do ONI na dinâmica dos casos de dengue



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do TabNet (2014 a 2024); NOAA (2014 a 2024).

Durante a fase La Niña, todos os municípios exibem distribuições extremamente comprimidas, com valores concentrados próximos de zero e ausência de dispersão expressiva. Esse padrão indica baixa variabilidade nos casos e transmissão reduzida ao longo dos meses classificados nessa fase climática. Ainda assim, observam-se pontualmente alguns valores isolados acima da mediana, sinalizando que a dengue mantém circulação mesmo sob condições de La Niña, o que é compatível com sua natureza endêmica na região e com a presença permanente do vetor no ambiente urbano metropolitano.

Na fase Neutra, o padrão se altera de forma perceptível. Guarulhos destaca-se com a maior dispersão entre os municípios menores, com outliers que ultrapassam 10.000 casos mensais, refletindo a ocorrência de surtos intermediários em períodos sem perturbação climática global. Os demais municípios (Mogi das Cruzes, Osasco, Santo André e São Bernardo do Campo) também apresentam aumento na dispersão e surgimento de valores extremos, ainda que de menor magnitude. São Paulo, por sua vez, exibe na fase Neutra sua distribuição mais expressiva entre todos os municípios, com outliers que atingem valores próximos a 200.000 casos mensais, correspondentes aos picos epidêmicos registrados em meses específicos do período analisado. Esse comportamento reforça que condições climáticas neutras, embora aparentemente estáveis, podem gerar irregularidades nos regimes de precipitação e temperatura que favorecem a expansão do vetor e a amplificação da transmissão, especialmente em metrópoles de alta densidade demográfica.

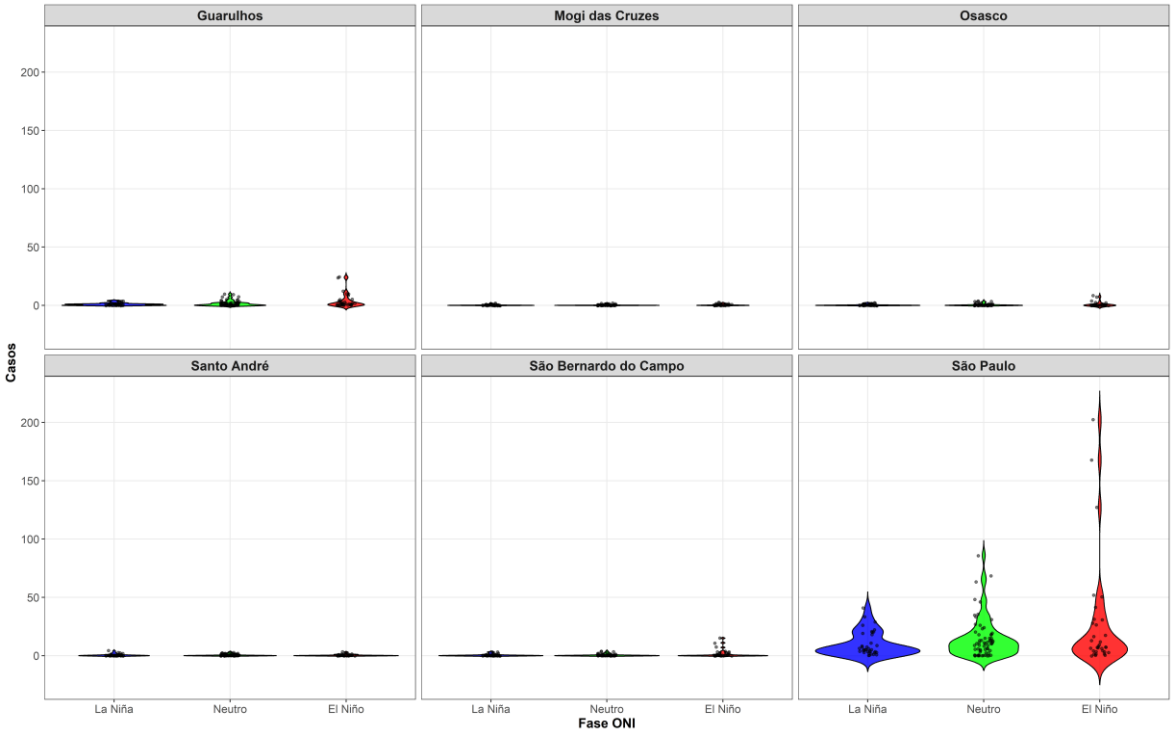
Durante o El Niño, observa-se aumento generalizado na amplitude das distribuições em todos os municípios. Guarulhos apresenta outliers que superam 10.000 casos, enquanto os demais municípios de menor porte mantêm distribuições mais comprimidas, porém com maior dispersão que na La Niña. Em São Paulo, o El Niño produz distribuição de amplitude expressiva, com outliers que alcançam valores superiores a 100.000 casos mensais, compatíveis com o pico epidêmico registrado em 2024 durante um episódio de El Niño Forte. Esse padrão indica que os eventos de El Niño estão associados à intensificação dos surtos de dengue, em consonância com as condições de temperaturas mais elevadas e alterações pluviométricas características dessa fase, que favorecem a replicação viral no interior do vetor, ampliam sua longevidade em ambientes urbanos com criadouros antrópicos e reduzem o intervalo entre gerações do mosquito (Depradine, 2004).

A marcada assimetria entre São Paulo e os demais municípios em todas as fases do ENOS reforça que o volume absoluto de casos na capital é estruturalmente distinto, sendo determinado não apenas pelas condições climáticas, mas sobretudo pelo seu porte populacional, pela extensão territorial e pela complexidade da dinâmica urbana metropolitana.

RELAÇÃO DO ENOS E O VÍRUS DA ZIKA

Os padrões observados para o vírus da zika revelam uma dinâmica epidemiológica com características próprias, distinguindo-se tanto da dengue quanto da chikungunya (Figura 5). Uma particularidade marcante evidenciada nos gráficos é a expressiva assimetria entre São Paulo e os demais municípios, que se mantém consistente em todas as fases do ENOS.

Figura 5 – Influência das fases do ONI na dinâmica dos casos de zika vírus



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do TabNet (2014 a 2024); NOAA (2014 a 2024).

Durante a fase La Niña, a maioria dos municípios apresenta distribuições extremamente comprimidas, com valores concentrados junto a zero e ausência de dispersão relevante. Guarulhos constitui uma exceção relativa, exibindo um violino de amplitude ligeiramente superior aos demais municípios menores, com alguns pontos dispersos na faixa baixa de casos. São Paulo, por sua vez, já na fase La Niña apresenta distribuição notavelmente mais ampla que os demais, com violino de base larga e casos que se distribuem ao longo de toda a escala até valores próximos a 20, indicando que a circulação do vírus na capital se manteve mesmo sob as condições climáticas dessa fase, reflexo do surto de zika ocorrido entre 2015 e 2016, período que coincidiu parcialmente com episódios de La Niña.

Na fase Neutra, observa-se alargamento moderado das distribuições. Guarulhos apresenta distribuição mais volumosa que na La Niña, com pontos dispersos e presença de alguns valores isolados mais elevados. Os demais municípios (Mogi das Cruzes, Osasco, Santo André e São Bernardo do Campo) mantêm distribuições achatadas, com dispersão reduzida e poucos outliers. São Paulo exibe na fase Neutra seu violino de maior amplitude entre todas as fases, com distribuição volumosa e casos que alcançam valores próximos a 100, refletindo a concentração do surto de zika em períodos de neutralidade climática, quando fatores locais e a introdução do vírus em uma população sem imunidade prévia exerceram papel determinante na intensidade da transmissão.

Durante o El Niño, Guarulhos apresenta o maior contraste em relação às fases anteriores entre os municípios menores, com violino de amplitude mais expressiva e outliers que superam 10 casos mensais. Os demais municípios de menor porte mantêm distribuições ainda comprimidas, com São Bernardo do Campo exibindo leve alargamento e alguns pontos isolados na fase El Niño. São Paulo, embora com violino de amplitude menor que na fase Neutra, ainda registra distribuição expressiva e casos que atingem valores superiores a 200, evidenciando a persistência da circulação viral na capital mesmo após o pico epidêmico.

Esse padrão geral, no qual São Paulo domina amplamente a distribuição dos casos de zika em todas as fases do ENOS, reflete menos a influência direta do fenômeno climático e mais a dinâmica particular de introdução e disseminação do vírus em uma metrópole de alta densidade demográfica e intensa mobilidade populacional. A concentração temporal do surto de zika entre 2015 e 2016 (associada à ausência de imunidade prévia na população) tende a sobrepor-se aos efeitos climáticos interanuais, o que contribui para explicar a ausência de associação estatisticamente significativa entre as fases do ENOS e a incidência de zika na maioria dos municípios analisados, conforme identificado nos testes de Kruskal-Wallis anteriormente apresentados.

Os resultados obtidos neste estudo, caracterizados por correlações fracas entre as variáveis climáticas e a incidência das arboviroses, são consistentes com os achados de Depradine (2004), que também identificou associações de baixa magnitude em análises de correlação linear sem defasagem temporal. Contudo, enquanto aquele autor demonstrou que a incorporação de defasagem temporal revelou associações mais expressivas ao considerar o intervalo necessário para o desenvolvimento do vetor e a incubação viral, o presente estudo adotou abordagem de correlação contemporânea, sem inclusão explícita de time lag. Essa diferença metodológica contribui para explicar a menor capacidade explicativa observada, evidenciada pelos baixos coeficientes obtidos, indicando que o ENOS e a precipitação respondem por apenas uma fração da variabilidade temporal das arboviroses na escala municipal analisada.

A análise em escala municipal intensifica, adicionalmente, a influência de fatores locais (como heterogeneidade socioambiental, ações de controle vetorial e infraestrutura de saneamento), os quais tendem a atenuar a relação direta e linear entre clima e incidência de doenças. Dessa forma, os achados não contradizem a literatura existente, mas a complementam ao demonstrar que, na ausência de análises com defasagem temporal e em escalas espaciais mais refinadas, a relação entre o ENOS e as arboviroses tende a se manifestar de forma fraca e modulada por condicionantes estruturais locais, conforme documentado por Depradine (2004).

O monitoramento sistemático das fases do ENOS pode constituir ferramenta complementar para a antecipação de cenários favoráveis à proliferação do *Aedes aegypti* e à intensificação da transmissão de arboviroses na RMSP, especialmente durante episódios de El Niño de maior intensidade. A relação entre os regimes pluviométricos associados ao ENOS e a disponibilidade de criadouros urbanos é mediada, em grande parte, pela capacidade e eficiência dos sistemas de drenagem urbana. Em municípios com infraestrutura de microdrenagem deficiente ou subdimensionada (condição recorrente em áreas periféricas e de ocupação irregular da RMSP), episódios de precipitação intensa geram acúmulo de água em logradouros, calçadas, terrenos baldios e recipientes abandonados, criando condições altamente favoráveis à oviposição e ao desenvolvimento larval do vetor. De forma complementar, nos períodos de estiagem associados a determinadas fases climáticas, o armazenamento domiciliar de água em recipientes sem vedação adequada (prática frequente em domicílios sem abastecimento regular) configura criadouros de elevada produtividade vetorial, independentemente da pluviosidade externa.

A impermeabilização crescente do solo urbano, característica marcante da expansão metropolitana de São Paulo, agrava esse cenário ao reduzir a infiltração e ampliar o escoamento superficial, favorecendo o acúmulo de água em pontos de baixada, galerias obstruídas e sistemas de drenagem com manutenção insuficiente. Sarjetas entupidas, bocas de lobo com resíduos sólidos e piscinões com manutenção irregular tornam-se potenciais criadouros em escala urbana, cuja contribuição para a densidade vetorial tende a ser subestimada nas estratégias convencionais de controle do Aedes aegypti, que historicamente concentram esforços no âmbito domiciliar.

Entretanto, a mitigação efetiva da incidência das arboviroses na RMSP requer estratégias integradas que articulem vigilância epidemiológica contínua, modernização e manutenção preventiva dos sistemas de macrodrenagem e microdrenagem urbana, ampliação da cobertura de saneamento básico (especialmente em áreas de maior vulnerabilidade socioambiental), gestão adequada de resíduos sólidos para eliminação de recipientes que retêm água, e ações estruturadas de educação em saúde voltadas ao controle de criadouros domiciliares e peridomiciliares. A preponderância dos fatores socioambientais e infraestruturais na manutenção do ciclo de transmissão vetorial nesse território reforça que intervenções climáticas, por si sós, são insuficientes, sendo indispensável a convergência entre políticas públicas de saúde, urbanismo e meio ambiente para a redução sustentável da carga de arboviroses na região metropolitana.

CONCLUSÕES

A dinâmica das arboviroses é multifatorial, resultante da interação entre variabilidade climática, características ambientais e condicionantes sociodemográficos e estruturais. Os resultados obtidos demonstraram que a incidência total de arboviroses na Região Metropolitana de São Paulo permanece elevada e heterogênea entre os municípios analisados, com concentração expressiva dos casos em São Paulo e Guarulhos, reflexo do porte populacional e da complexidade urbana dessas localidades. Contudo, ao se considerar a carga proporcional à população, municípios como Osasco e Mogi das Cruzes também revelaram vulnerabilidade epidemiológica relevante, evidenciando que fatores como densidade demográfica, infraestrutura de saneamento e dinâmica de

urbanização exercem papel determinante na distribuição espacial das doenças.A análise de correlação revelou que tanto o ONI quanto a precipitação apresentam, em geral, relações fracas com a incidência das arboviroses nos municípios estudados. Ainda assim, padrões relevantes foram identificados entre as arboviroses e as fases climáticas do ENOS:

i. Para o vírus da dengue, o teste de Kruskal-Wallis identificou diferenças estatisticamente significativas entre as fases do ONI em todos os municípios, sugerindo que as condições climáticas associadas ao El Niño, especialmente o aumento de temperatura e as alterações no regime pluviométricos, contribuem para a amplificação dos surtos, como evidenciado pelo pico epidêmico de 2024;

ii. Para o vírus da zika, a ausência de significância estatística na maioria dos municípios indica que sua dinâmica de transmissão na RMSP foi predominantemente determinada pela introdução do vírus em uma população sem imunidade prévia, sobrepondo-se aos efeitos das oscilações climáticas interanuais;

iii. Para o vírus da chikungunya, os resultados sugerem maior sensibilidade ao ONI em São Paulo, único município com diferença significativa entre as fases, possivelmente amplificada pela limitação temporal da série histórica disponível, iniciada em 2023.

Quanto às diferenças entre as arboviroses, a dengue apresentou a maior amplitude de variação e elevada sensibilidade às fases quentes associadas ao El Niño, compatível com seu caráter endêmico de longa data na região. A zika exibiu padrão intermediário, com concentração dos casos em um surto epidêmico delimitado temporalmente, cuja magnitude em São Paulo se destacou em todas as fases climáticas. A chikungunya, por sua vez, demonstrou comportamento mais episódico, com distribuição de casos ainda incipiente dado o curto período de circulação documentada na região.

A correlação fraca entre as variáveis climáticas e a incidência das arboviroses reforça a necessidade de incorporar defasagem temporal entre os eventos climáticos e a notificação dos casos em análises futuras, bem como de integrar fatores socioambientais, como cobertura de saneamento básico, densidade populacional, mobilidade urbana e infraestrutura de controle vetorial, em modelos preditivos de maior capacidade explicativa.

O monitoramento sistemático das fases do ENOS pode constituir ferramenta complementar para a antecipação de cenários favoráveis à proliferação do *Aedes aegypti* e à intensificação da transmissão de arboviroses na RMSP, especialmente durante episódios de El Niño de maior intensidade. Entretanto, a mitigação da incidência dessas doenças na região metropolitana de São Paulo requer estratégias integradas que articulem vigilância epidemiológica contínua, planejamento urbano sustentável, ampliação da cobertura de saneamento básico e ações de educação em saúde, dada a preponderância dos fatores socioambientais e estruturais na manutenção do ciclo de transmissão vetorial nesse território.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, Lorena Sampaio; COTA, Ana Lídia Soares; RODRIGUES, Diego Freitas. Saneamento, Arboviroses e Determinantes Ambientais de Doenças: impactos na saúde urbana. Ciência & saúde coletiva, v. 25, p. 3857-3868, 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/1413-812320202510.30712018. Disponível em: https://www.scielosp.org/article/csc/2020.v25n10/3857-3868/pt/. Acesso em: 20 ago. 2025.

2. Alvares C.A., Stape J.L., Sentelhas P.C., de Moraes G., Leonardo J. & Sparovek G. (2013). K¨oppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift 22, 711-728, DOI: http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507. Disponível em: https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil. Acesso em: 20 ago. 2025.

3. AVELINO-SILVA, Vivian Iida; RAMOS, Jessica Fernandes. Arboviroses e políticas públicas no Brasil/Arboviruses and public policies in Brazil. HSJ, v. 7, n. 3, p. 1-2, 2017. DOI: https://doi.org/10.21876/rcsfmit.v7i3.675. Disponível em: https://portalrcs.hcitajuba.org.br/index.php/rcsfmit_zero/article/view/675. Acesso em: 21 ago. 2025.

4. BENFICA, Nayanne Silva *et al.* The Relation Between Net Primary Productivity And Human Activities For Three Biomes In Bahia State, Brazil. Geography, Environment, Sustainability, v. 15, n. 4, p. 6-16, 2023. DOI: https://doi.org/10.24057/2071-9388-2022-021. Disponível em: https://ges.rgo.ru/jour/article/view/2709. Acesso em: 21 ago. 2025.

5. BRASIL. Ministério da Saúde. Arboviroses. Brasília: Ministério da Saúde, [s.d.]. Disponível em: https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/a/arboviroses. Acesso em: 17 ago. 2025.

6. BRASIL. Ministério da Saúde. DATASUS – Informações de Saúde: TabNet. Disponível em: https://datasus.saude.gov.br/informacoes-de-saude-tabnet/. Acesso em: 24 jul. 2025.

7. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Bioma Cerrado. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/biomas/cerrado. Acesso em: 23 ago. 2025.

8. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Bioma Mata Atlântica. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/biomas/mata-atlantica. Acesso em: 23 ago. 2025.

9. DATACLIMA. Plataforma de dados climáticos. Disponível em: https://dataclima.onrender.com/. Acesso em: 17 out. 2025.

10. DEPRADINE, Colin; LOVELL, Ernest. Climatological variables and the incidence of Dengue fever in Barbados. International journal of environmental health research, v. 14, n. 6, p. 429-441, 2004. DOI: https://doi.org/10.1080/09603120400012868. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09603120400012868. Acesso em: 14 jul. 2025.

11. DONALISIO, Maria Rita; FREITAS, André Ricardo Ribas; ZUBEN, Andrea Paula Bruno Von. Arboviroses emergentes no Brasil: desafios para a clínica e implicações para a saúde pública. Revista de saúde pública, v. 51, p. 30, 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/S1518-8787.2017051006889. Disponível em: https://www.scielosp.org/article/rsp/2017.v51/30/pt/. Acesso em: 15 jul. 2025.

12. FERREIRA, Danielle Barros *et al*. Variação espacial da temperatura e precipitação e sua associação aos Eventos de El niño e La niña em Tucuruí-Pa. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia. 2002. Disponível em: https://shre.ink/qz2i. Acesso em: 08 ago. 2025.

13. GOLDEN GATE WEATHER SERVICES. ENSO Years based on Oceanic Niño Index (ONI). Online. Disponível em: https://ggweather.com/enso/oni.htm. Acesso em: 05 jun 2025.

14. GOULD, Ernest *et al.* Emerging arboviruses: Why today?. One health, v. 4, p. 1-13, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2017.06.001. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352771417300137. Acesso em: 21 jun 2025.

15. GRIMM, Alice M.; TEDESCHI, Renata G. ENSO and extreme rainfall events in South America. Journal of Climate, v. 22, n. 7, p. 1589-1609, 2009. DOI: https://doi.org/10.1175/2008JCLI2429.1. Disponível em: https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/22/7/2008jcli2429.1.xml. Acesso em: 21 jun 2025.

16. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados. Acesso em: 17 nov. 2025.

17. MAPBIOMAS. Legenda Coleção 8 – Descrição Detalhada (PDF). Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/09/Legenda-Colecao-8-Descricao-Detalhada-PDF-PT-3-1.pdf. Acesso em: 24 ago. 2025.

18. MONTEIRO, Lua da Silva. Chuvas urbanas nas capitais do nordeste brasileiro. 2023. 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2022. Disponível em: http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/123456789/11089. Acesso em: 19 ago. 2025.

19. NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration. Oceanic Niño Index (ONI). Disponível em: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 10 jul. 2025.

20. RIBEIRO, Mateus Duarte *et al*. Estudo descritivo da ocorrência de dengue e suas relações com o clima e a ação da vigilância em saúde no município de Franca, São Paulo, Brasil, 2007 a 2011. Revista investigação saúde, v. 14, n. 1, p. 138-144, 2015. DOI: https://doi.org/10.26843/investigacao.v14i1.737. Disponível em: https://publicacoes.unifran.br/index.php/investigacao/article/view/737. Acesso em: 28 ago. 2025.

21. RODRIGUES, Regina R.; MCPHADEN, Michael J. Why did the 2011–2012 La Niña cause a severe drought in the Brazilian Northeast?. Geophysical Research Letters, v. 41, n. 3, p. 1012-1018, 2014. DOI: https://doi.org/10.1002/2013GL058703. Disponível em: https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/2013GL058703. Acesso em: 01 ago. 2025.

22. SOUZA, Reginaldo Luiz Fernandes. Variabilidade interdecadal da precipitação na Amazonia Ocidental brasileira. 2009. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2009. Disponível em: http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/riufal/868. Acesso em: 01 out. 2025.

23. SOUZA FERNANDES, Ciro Octávio *et al.* Arboviroses emergentes e reemergentes no Brasil: dengue, chikungunya e zika. Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences, v. 6, n. 8, p. 5036-5048, 2024. DOI: https://doi.org/10.36557/2674-8169.2024v6n8p5036-5048. Disponível em: https://bjihs.emnuvens.com.br/bjihs/article/view/2973. Acesso em: 03 out. 2025.

24. VIANA, D.V.; IGNOTTI, E. A ocorrência da dengue e variações meteorológicas no Brasil: Revisão sistemática. Rev Bras Epidemiol., v. 16, n. 2, p. 240-256, 2013. DOI: https://doi.org/10.1590/S1415-790X2013000200002. Disponível em: https://www.scielosp.org/article/rbepid/2013.v16n2/240-256/en/. Acesso em: 05 out. 2025.