

UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS PASSO FUNDO
CURSO DE MEDICINA

WALLACE COSTA HONORIO

**A INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMATICAS E SAZONALIDADE NA
INCIDÊNCIA DE ZIKA VÍRUS NA REGIÃO SUL DO BRASIL.**

PASSO FUNDO, RS
2026
WALLACE COSTA HONORIO

**A INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMATICAS E SAZONALIDADE NA
INCIDÊNCIA DE ZIKA VÍRUS NA REGIÃO SUL DO BRASIL.**

Trabalho de curso de graduação apresentado como
requisito parcial para obtenção do Título de Médico
da Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus
Passo Fundo, RS.

Orientador: Dr Thiago Fonseca Alvez França

Coorientador: Dr Gustavo Olszanski Acrani

PASSO FUNDO, RS

2026

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Honorio, Wallace Costa

A INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E SAZONALIDADE
NA INCIDÊNCIA DE ZIKA VÍRUS NA REGIÃO SUL DO BRASIL. /
Wallace Costa Honorio. -- 2026.

68 f.:il.

Orientador: Doutor Thiago Fonseca Alvez França

Co-orientador: Doutor Gustavo Olszanski Acrani

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -

Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Medicina, Passo Fundo, RS, 2026.

1. Infecções por Arbovírus. 2. Zika vírus. 3. Mudança
climática. 4. Aedes. 5. Variáveis climáticas. I. França,
Thiago Fonseca Alvez, orient. II. Acrani, Gustavo
Olszanski, co-orient. III. Universidade Federal da
Fronteira Sul. IV. Título.

WALLACE COSTA HONORIO

A INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMATICAS E SAZONALIDADE NA INCIDÊNCIA DE ZIKA VÍRUS NA REGIÃO SUL DO BRASIL.

Trabalho de curso de graduação apresentado como
requisito parcial para obtenção do Título de Médico
da Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus
Passo Fundo, RS.

Este trabalho de curso foi defendido e aprovado pela banca em: 17/06/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof Dr Thiago Fonseca Alvez França - UFFS
Orientador

Profª Drª Paula Reginatto - UFFS
Avaliadora

Profª Drª Ana Luisa Sant'Anna Alves - UFFS
Avaliadora

APRESENTAÇÃO

O presente Trabalho de Curso (TC), de autoria do acadêmico Wallace Costa Honório, foi desenvolvido como parte das exigências para a obtenção do grau de Bacharel em Medicina pela Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), no campus de Passo Fundo – RS. O trabalho contou com a orientação do Prof. Dr. Thiago Fonseca Alves França e a coorientação do Prof. Dr. Gustavo Olszanski Acrani. A pesquisa foi realizada ao longo da quinta, sexta e sétima fases do curso, nos componentes curriculares TC I, TC II e TC III, compreendendo o período letivo de 2025/01 a 2026/01. Sua elaboração seguiu integralmente as diretrizes do Manual de Trabalhos Acadêmicos da UFFS, bem como o Regulamento do Trabalho de Curso, que contempla a produção do projeto de pesquisa, do relatório de atividades e de um artigo científico. O estudo em questão é de natureza epidemiológica, com abordagem quantitativa e delineamento observacional do tipo ecológico, de caráter descritivo e analítico. Ele está intitulado “A relação das mudanças climáticas na incidência dos casos de Zika vírus na região sul do Brasil”.

RESUMO

O vírus Zika (ZIKV) é um arbovírus transmitido pelo *Aedes aegypti* cujo ciclo de vida é fortemente influenciado por fatores climáticos, especialmente temperatura e precipitação. A transmissão autóctone confirmada na Região Sul do Brasil em 2016, favorecida pelo El Niño 2015-2016, demonstra como variações climáticas podem expandir geograficamente a transmissão de arboviroses. Trata-se de um estudo epidemiológico ecológico analisando dados secundários do SINAN e NASA POWER em municípios da região Sul do Brasil (2016-2024). Foram excluídos municípios com menos de 5.000 habitantes, menos de 20 casos notificados e municípios contíguos com clima semelhante, resultando em três recortes analíticos. A modelagem utilizou Modelo Linear Generalizado (GLM) para dados longitudinais com distribuição binomial negativa, estrutura de correlação autorregressiva de primeira ordem (AR1), *offset* populacional e efeitos fixos, gerando quatro modelos. A análise incluiu 3.317 casos no recorte global, 2.109 casos em 2016 e 2.679 casos no recorte de transmissão contínua. A sazonalidade foi o principal preditor da incidência em todos os cenários. As estações verão e outono apresentaram associação consistente e significativa com maior incidência comparadas ao inverno, com aumentos variando de 92% (transmissão contínua) a 3.990% (2016). As variáveis climáticas contínuas (precipitação, temperatura e Índice De Martonne) mostraram significância estatística quando analisadas isoladamente, mas perderam significância após inclusão da sazonalidade nos modelos, sugerindo que o efeito climático é mediado pela variação sazonal. Os valores de R^2 foram baixos (modelo 2: 0,004 e 0,197), indicando que outros fatores não climáticos podem contribuir substancialmente para a variação na incidência. A sazonalidade é o principal preditor climático da incidência de ZIKV na Região Sul do Brasil, com maior concentração de casos no verão e outono. A persistência de casos em nove municípios durante todo o período estudado evidencia circulação viral contínua em área subtropical, reforçando a necessidade de intensificar a vigilância epidemiológica e o controle vetorial nas estações mais quentes, particularmente diante das mudanças climáticas globais que favorecem a expansão da área de distribuição dos mosquitos.

Palavras-chave: Zika vírus. Mudança climática. *Aedes*. Infecções por Arbovírus.

ABSTRACT

The Zika virus (ZIKV) is an arbovirus transmitted by *Aedes aegypti* whose life cycle is strongly influenced by climatic factors, especially temperature and precipitation. Confirmed autochthonous transmission in the Southern Region of Brazil in 2016, favored by the 2015-2016 El Niño, demonstrates how climatic variations can geographically expand arbovirus transmission. An ecological epidemiological study analyzing secondary data from SINAN and NASA POWER in municipalities in the southern region of Brazil (2016-2024). Municipalities with fewer than 5,000 inhabitants, fewer than 20 reported cases, and contiguous municipalities with similar climate were excluded, resulting in three analytical subsets. Modeling used a Generalized Linear Model (GLM) for longitudinal data with negative binomial distribution, first-order autoregressive correlation structure (AR1), population offset, and fixed effects, generating four models. The analysis included 3,317 cases in the global subset, 2,109 cases in 2016, and 2,679 cases in the continuous transmission subset. Seasonality was the main predictor of incidence in all scenarios. Summer and autumn seasons showed consistent and significant association with higher incidence compared to winter, with increases ranging from 92% (continuous transmission) to 3,990% (2016). Continuous climatic variables (precipitation, temperature, and De Martonne Index) showed statistical significance when analyzed in isolation but lost significance after inclusion of seasonality in the models, suggesting that the climatic effect is mediated by seasonal variation. R^2 values were low (model 2: 0.004 and 0.197), indicating that other non-climatic factors may substantially contribute to variation in incidence. Seasonality is the main climatic predictor of ZIKV incidence in the Southern Region of Brazil, with higher concentration of cases in summer and autumn. The persistence of cases in nine municipalities throughout the entire study period evidences continuous viral circulation in a subtropical area, reinforcing the need to intensify epidemiological surveillance and vector control during warmer seasons, particularly in light of global climate changes that favor the expansion of mosquito distribution areas.

Keywords: Zika virus. Climate change. *Aedes*. Arbovirus Infections.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. DESENVOLVIMENTO	10
2.1. PROJETO DE PESQUISA	10
2.1.1. Tema	10
2.1.2. Problemas	10
2.1.3. Hipóteses	11
2.1.4. Objetivos	11
2.1.4.1. Objetivo Geral	11
2.1.4.2. Objetivos Específicos	11
2.1.5. Justificativa.....	12
2.1.6. Referencial teórico	12
2.1.6.2. Epidemiologia do Zika Vírus.....	15
2.1.6.3. Relação entre Clima e Vetores de Doenças.....	16
2.1.7 Metodologia	21
2.1.7.1 Tipo de estudo, local e realização	21
2.1.7.2 População e amostragem.....	22
2.1.7.3 Variáveis, instrumentos e coleta de dados	22
2.1.7.4 Processamento, controle de qualidade e análise dos dados.....	24
2.1.7.5 Aspectos éticos	25
2.1.8 Recursos	26
2.1.9 Cronograma	26
REFERÊNCIAS.....	28
ANEXO I.....	32
2.2 RELATÓRIO DE PESQUISA	33
3. ARTIGO CIENTÍFICO	36
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	67

1. INTRODUÇÃO

A identificação inicial do Zika vírus ocorreu em 1947, em Uganda, a partir do isolamento do patógeno em um macaco sentinela utilizado em estudos epidemiológicos (Dick; Kitchen; Haddow, 1952). O vírus Zika é um arbovírus pertencente à família *Flaviviridae* e ao gênero *Flavivirus*, sendo transmitido principalmente por artrópodes hematófagos, com destaque para o mosquito *Aedes aegypti*. Trata-se de um vírus emergente, com significativo potencial de disseminação global e impacto na saúde pública (German Advisory Committee Blood, 2016).

O *Aedes albopictus* é reconhecido como um vetor secundário do vírus Zika, apresentando uma maior taxa de infecção em comparação ao *Aedes aegypti* (Ciota *et al.*, 2017). No entanto, sua eficiência na transmissão viral é inferior à do *Aedes aegypti*, sugerindo a presença de barreiras biológicas que limitam sua capacidade de disseminação do patógeno (Ciota *et al.*, 2017).

Além da transmissão por vetores artrópodes, o vírus Zika pode ser disseminado por outras vias, incluindo a transmissão transplacentária, conforme descrito por Besnard *et al.* (2014), representando um risco significativo para o desenvolvimento fetal. Estudos também evidenciam a possibilidade de transmissão por transfusão sanguínea (Musso *et al.*, 2014) e transmissão sexual (Foy *et al.*, 2011), ampliando as preocupações quanto ao controle epidemiológico da doença.

A infecção pelo vírus Zika pode manifestar-se por um quadro clínico variável, caracterizado por sintomas como febre, exantema maculopapular, artralgia, cefaleia e mialgia (Rodriguez-Morales, 2015). Embora, na maioria dos casos, a evolução da doença seja autolimitada e de curta duração, a infecção pode estar associada a complicações neurológicas e congênitas, exigindo atenção especial por parte dos profissionais de saúde e das autoridades sanitárias (Silva *et al.*, 2018).

Uma série de distúrbios neurológicos tem sido amplamente associada à infecção pelo vírus Zika (ZIKV), destacando-se a Síndrome de Guillain-Barré em adultos e a microcefalia em neonatos (ZUNT, 2017). Diante desse cenário alarmante, a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou uma Emergência de Saúde Pública de Interesse Internacional, reconhecendo a gravidade da situação e a necessidade de medidas coordenadas para conter a disseminação do vírus (Barbi *et al.*, 2018).

O primeiro registro oficial de infecção pelo vírus Zika nas Américas ocorreu no Nordeste do Brasil, em 2015, com casos identificados inicialmente nos estados de

Pernambuco, Rio Grande do Norte e Bahia. Posteriormente, a doença se disseminou para outras regiões do país, incluindo o Centro-Oeste e o Sudeste. (Lowe *et al.*, 2018)

O Zika vírus foi identificado pela primeira vez por transmissão autóctone na Região Sul do Brasil em 2016, com a confirmação de um caso no estado do Rio Grande do Sul (Gregianini *et al.*, 2017). A paciente não apresentava histórico de viagens, o que indica que o vírus já estava em circulação local, provavelmente introduzido por indivíduos infectados provenientes de outras regiões do país. A disseminação do vírus na região foi favorecida por diversos fatores, entre os quais se destaca a presença consolidada do mosquito vetor *Aedes aegypti*, espécie altamente adaptável ao ambiente urbano e também responsável pela transmissão de outras arboviroses, como dengue e Chikungunya (Soek *et al.*, 2023).

Dada sua relevância epidemiológica e os desafios impostos à vigilância e ao controle do vetor, torna-se imprescindível a realização de estudos que aprofundem o conhecimento sobre os mecanismos de transmissão, os fatores ambientais que favorecem sua disseminação e as estratégias mais eficazes para a contenção da doença.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. PROJETO DE PESQUISA

2.1.1. Tema

A relação entre as variáveis climáticas e o número dos casos de Zika vírus na Região Sul do Brasil.

2.1.2. Problemas

Qual a incidência de Zika vírus na região sul do Brasil de 2016 a 2024?

Qual a relação da temperatura média e a incidência de Zika vírus na região sul do Brasil?

Como a alteração no regime de chuvas se associa com a incidência de Zika vírus no Brasil?

Há evidências de um efeito da interação entre a temperatura média e dos regimes sazonais de chuvas na incidência do Zika?

2.1.3. Hipóteses

A incidência de Zika vírus na Região Sul do Brasil apresentou aumento significativo entre os anos de 2016 e 2024, acompanhando a expansão territorial do *Aedes aegypti* favorecida por alterações no regime de chuvas e temperatura.

Existe uma correlação positiva entre o aumento da temperatura média anual e a elevação dos casos de Zika vírus na Região Sul do Brasil no período analisado.

As mudanças climáticas influenciam os padrões de precipitação, fazendo que chova um grande volume em épocas atípicas do ano, favorecendo a expansão do Zika Vírus.

A combinação de temperaturas mais elevadas e regimes de chuva irregulares tem contribuído para a adaptação e permanência do Zika Vírus em áreas anteriormente consideradas não endêmicas como a Região Sul do país.

2.1.4. Objetivos

2.1.4.1. Objetivo Geral

Analisar a influência das variáveis climáticas no aumento da incidência de Zika vírus na Região Sul do Brasil, avaliando fatores climáticos que contribuem para a proliferação do Zika Vírus.

2.1.4.2. Objetivos Específicos

Investigar a evolução da incidência de casos de Zika vírus na Região Sul do Brasil entre os anos de 2016 e 2024.

Analisar a relação entre o aumento da temperatura média e o número de casos de Zika vírus registrados na Região Sul no período estudado.

Avaliar a influência das alterações no regime de chuvas (frequência, intensidade e sazonalidade) na incidência do Zika Vírus.

Identificar como o conjunto de mudanças sazonais de chuva e aumento da temperatura média em conjunto aumentam a incidência de Zika Vírus.

2.1.5. Justificativa

As mudanças climáticas vêm sendo amplamente discutidas pela comunidade científica devido ao seu impacto sobre os ecossistemas e a saúde pública. O aumento das temperaturas médias e a alteração no regime de são fatores que podem modificar a distribuição geográfica e a densidade populacional de vetores de doenças tropicais, como o *Aedes aegypti* e o *Aedes albopictus*. Diante desse contexto, a Região Sul do Brasil, historicamente menos afetada por doenças transmitidas por mosquitos em comparação às regiões Norte e Nordeste, apresentou um aumento no número de casos de arboviroses nos últimos anos, incluindo o Zika vírus.

Estudos indicam que o aquecimento global pode ampliar a faixa geográfica de sobrevivência do *Aedes aegypti*, permitindo sua adaptação a áreas anteriormente desfavoráveis para sua reprodução (Rocklöv *et al.*, 2016). Além disso, variações nos padrões de precipitação podem favorecer a formação de criadouros artificiais e naturais, contribuindo para a proliferação do vetor (Lowe *et al.*, 2018).

Diante disso, este estudo se justifica pela necessidade de compreender como os fatores climáticos influenciam a disseminação do Zika vírus na Região Sul do Brasil, fornecendo subsídios para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes de controle vetorial e prevenção da doença. Além disso, ao analisar as correlações entre as mudanças climáticas e a incidência da arbovirose, o presente trabalho pode contribuir para a formulação de políticas públicas voltadas à mitigação dos impactos das variações climáticas na saúde da população.

Assim, considerando a relevância epidemiológica do Zika vírus e os desafios impostos pela sua transmissão, torna-se essencial investigar o papel das mudanças climáticas nesse processo. Dessa forma, este estudo não apenas preenche uma lacuna na literatura científica, mas também auxilia na formulação de estratégias de enfrentamento à doença, contribuindo para a saúde pública e o bem-estar da população.

2.1.6. Referencial teórico

O vírus Zika (ZIKV) é um arbovírus pertencente ao gênero *Flavivirus*, da família *Flaviviridae*. (Vasilakis e Weaver, 2017) Trata-se do mesmo grupo taxonômico que inclui outros agentes etiológicos de relevância epidemiológica, como os vírus da

febre amarela, da dengue, da encefalite japonesa e do Nilo Ocidental. (Postler *et al.*, 2023). Esses vírus compartilham características estruturais e genômicas semelhantes, entre as quais destaca-se o genoma constituído por RNA de fita simples com polaridade positiva. Além disso, apresentam mecanismos semelhantes de codificação de proteínas, englobando tanto proteínas estruturais quanto não estruturais, o que contribui para a complexidade de seu ciclo viral e sua interação com o hospedeiro humano (Sirohi *et al.*, 2016).

O primeiro grande surto documentado de febre pelo vírus Zika (ZIKV) ocorreu em 2007, na ilha de Yap, situada no Pacífico Ocidental, pertencente aos Estados Federados da Micronésia. Esse evento marcou a transição do ZIKV de um agente infeccioso esporádico e geograficamente restrito a um patógeno com potencial epidêmico significativo. A epidemia de Yap evidenciou, pela primeira vez, a capacidade do vírus de se disseminar em larga escala em populações humanas, abrindo caminho para futuras ocorrências em outras regiões tropicais e subtropicais do planeta (Duffy *et al.*, 2009).

A partir do surto registrado na Micronésia, diversos episódios epidêmicos de infecção pelo vírus Zika (ZIKV) foram relatados em diferentes regiões do mundo, evidenciando seu potencial de disseminação global. Destacam-se, nesse contexto, duas epidemias que afetou 30 mil pessoas ocorrida entre 2013 e 2014 na Polinésia Francesa. (Cao-Lormeau *et al.* 2014).

A introdução do vírus Zika (ZIKV) no continente americano ocorreu de forma progressiva, sendo os primeiros casos oficialmente registrados em março de 2015. A partir desse período, observou-se uma rápida expansão geográfica da infecção, especialmente em áreas tropicais com alta densidade do vetor *Aedes aegypti*. Até o final de janeiro de 2016, mais de 20 países e territórios das Américas já haviam notificado surtos autóctones de ZIKV. (Enfissi *et al.*, 2016).

O primeiro relato de transmissão autóctone do vírus Zika (ZIKV) no Brasil ocorreu em 2015, na cidade de Natal, capital do estado do Rio Grande do Norte. Durante esse episódio, diversos pacientes apresentaram quadro clínico caracterizado por febre baixa, exantema maculopapular, conjuntivite não purulenta e artralgia. Inicialmente, esses casos foram investigados como suspeitas de dengue ou Chikungunya; no entanto, os testes laboratoriais para esses dois arbovírus apresentaram resultados negativos. A confirmação da infecção por ZIKV foi obtida por meio da detecção do RNA viral no soro de oito pacientes, e análises filogenéticas

revelaram que as amostras pertenciam ao clado asiático do vírus, o mesmo envolvido nos surtos do Pacífico (Zanluca *et al.* 2015).

O vírus Zika (ZIKV) pode ser transmitido por múltiplas vias, sendo a transmissão vetorial a mais comum. Essa forma ocorre por meio da picada de mosquitos do gênero *Aedes*, especialmente o *Aedes aegypti*, amplamente distribuído em regiões tropicais e subtropicais. Além da via vetorial, a transmissão sexual tem sido amplamente documentada, uma vez que o vírus pode ser excretado em fluidos genitais. Estudos demonstram a presença de RNA viral no sêmen por até 188 dias após o início dos sintomas, enquanto em mulheres o vírus pode ser detectado por até 13 dias em secreções genitais. Há também relatos de transmissão potencial por outros fluidos corporais, como saliva e urina, embora essa via ainda careça de comprovação definitiva quanto à sua relevância epidemiológica. A transmissão vertical — da mãe para o feto durante a gestação — é uma das formas mais preocupantes, pois está diretamente relacionada ao risco de malformações congênitas graves, como a microcefalia. Adicionalmente, há evidências de transmissão por transfusão sanguínea, o que ressalta a importância da triagem rigorosa em bancos de sangue, especialmente em regiões com circulação ativa do ZIKV (Ceccon *et al.*, 2020).

O período de incubação da infecção pelo vírus Zika (ZIKV) em seres humanos — compreendido como o intervalo entre a exposição ao vírus e o aparecimento dos primeiros sintomas clínicos — é estimado entre 3 e 14 dias. Essa estimativa tem como base estudos conduzidos com viajantes sintomáticos que retornaram de áreas endêmicas e foram diagnosticados com infecção recente por ZIKV. A análise desses casos revelou uma mediana de incubação em torno de 6,2 dias, com intervalo de confiança que sugere que a maioria dos indivíduos desenvolverá manifestações clínicas dentro desse período. (Krow-Lucal *et al.*, 2017).

O vírus Zika (ZIKV) é uma arbovirose que, na maioria dos casos, manifesta-se com sintomas leves e inespecíficos, o que pode dificultar o diagnóstico clínico, especialmente em regiões endêmicas para outras arboviroses. Os sinais e sintomas mais frequentemente observados incluem febre de baixa intensidade e curta duração, exantema cutâneo pruriginoso, conjuntivite não purulenta com hiperemia ocular, além de artralgia e, em alguns casos, artrite. Também podem estar presentes manifestações gastrointestinais, como náuseas e episódios diarreicos. Estima-se que entre 50% e 80% dos indivíduos infectados permaneçam assintomáticos, o que

contribui para a subnotificação e a disseminação silenciosa do vírus. (Guanche Garcell *et al.*, 2020).

O vírus Zika (ZIKV) também está associado a complicações neurológicas relevantes, sendo a microcefalia em recém-nascidos e a síndrome de Guillain-Barré (SGB) em adultos as manifestações mais expressivas. A infecção durante a gestação pode comprometer gravemente o desenvolvimento neurológico fetal, resultando em microcefalia e outras alterações congênitas, como calcificações intracranianas e distúrbios oculares, configurando a chamada Síndrome Congênita do Zika. Em adultos, a infecção pelo ZIKV tem sido correlacionada ao aumento de casos de SGB, uma neuropatia autoimune aguda caracterizada por fraqueza muscular progressiva e, em casos graves, paralisia. Tais evidências reforçam o impacto do ZIKV como uma ameaça significativa à saúde pública, com repercussões importantes tanto no âmbito materno-infantil quanto neurológico. (Hygino da Cruz Jr *et al.*, 2018).

2.1.6.2. Epidemiologia do Zika Vírus

Inicialmente, a infecção pelo vírus Zika era considerada uma condição clínica autolimitada e de evolução benigna. Entretanto, em outubro de 2015, profissionais da área materno-infantil observaram um aumento expressivo no número de neonatos diagnosticados com microcefalia—uma condição rara, caracterizada pelo desenvolvimento cerebral incompleto. Esses casos foram identificados predominantemente em maternidades do Nordeste do Brasil e levantaram um alerta epidemiológico que mobilizou a comunidade científica e órgãos de saúde pública em âmbito nacional e internacional (Lowe *et al.*, 2018).

O vírus Zika representa uma preocupação significativa de saúde pública, sobretudo em regiões urbanas onde há elevada prevalência do vetor *Aedes aegypti*, essa condição epidemiológica favorece a disseminação do vírus entre populações densamente concentradas (Faria *et al.*, 2016). O grupo populacional de maior vulnerabilidade à infecção pelo vírus Zika é composto por mulheres grávidas, uma vez que a infecção durante a gestação pode resultar em sérias consequências para o desenvolvimento fetal (POMAR *et al.*, 2019).

Estudos epidemiológicos têm demonstrado uma associação temporal significativa entre a infecção pelo vírus Zika durante a gestação e a ocorrência de microcefalia em recém-nascidos. Observou-se um aumento expressivo nas taxas de

microcefalia em regiões com elevada incidência de casos de Zika, sendo essa relação estatisticamente significativa (Mlakar *et al.*, 2016). A análise dos dados revelou que os casos suspeitos de microcefalia estavam diretamente correlacionados com a incidência do vírus Zika na população durante a 17ª semana de gestação. De forma ainda mais específica, nos casos classificados como microcefalia grave, a correlação se deu com a exposição viral por volta da 14ª semana gestacional (Calvet *et al.*, 2016). Esses achados sugerem que existe uma janela de vulnerabilidade crítica no desenvolvimento fetal, durante a qual a infecção pelo Zika vírus pode comprometer a formação do sistema nervoso central, culminando em malformações congênitas severas (Martines *et al.*, 2016).

A Síndrome Congênita associada à infecção pelo vírus Zika (SCZ) representa uma das manifestações mais graves da disseminação do Zika vírus, especialmente quando a infecção ocorre durante a gestação (Teixeira *et al.*, 2020). Segundo dados do Ministério da Saúde (2023), entre os anos de 2015 e 2022, foram notificados 3.187 casos de SCZ no Brasil. Desse total, 736 foram confirmados, 1.857 permaneceram sob investigação e 594 foram descartados ou excluídos. No mesmo intervalo, foram registrados 232 óbitos confirmados relacionados à síndrome, o que demonstra sua relevância enquanto problema de saúde pública, sobretudo no contexto materno-infantil. Os primeiros casos surgiram em 2015, com maior concentração na Região Nordeste, refletindo a rápida disseminação do vírus em áreas com alta densidade do vetor *Aedes aegypti*. Em 2016, observou-se o pico de notificações, seguido de variações nos anos posteriores (Brasil, 2023).

A epidemia do vírus Zika, marcada pela associação com a Síndrome Congênita do Zika (SCZ) e o aumento de casos de microcefalia, destacou a gravidade de suas implicações para a saúde pública, especialmente no âmbito materno-infantil. O brilho significativo entre a infecção durante a gestação e malformações congênitas, aliada à rápida disseminação em áreas urbanas com alta densidade do vetor *Aedes aegypti*, sublinha a importância de medidas integradas de vigilância epidemiológica, controle vetorial e educação em saúde.

2.1.6.3. Relação entre Clima e Vetores de Doenças

A mudança climática é amplamente reconhecida como um dos maiores desafios da contemporaneidade, caracterizando-se por alterações no sistema

climático global. Essas modificações podem decorrer tanto de variações naturais ao longo do tempo quanto, de maneira mais acentuada e preocupante, da intensificação das atividades humanas (Ipcc, 2007). Desde o período pré-industrial, observa-se um aumento significativo na emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, especialmente dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Esse fenômeno tem provocado alterações em diversos aspectos do clima, com consequências diretas e indiretas para a saúde humana e os ecossistemas (Ipcc, 2014).

Além disso, a relação entre o desmatamento, como o que ocorre na Amazônia, regimes de chuva e o aumento da temperatura no Brasil é profundamente interdependente, tendo em vista o papel essencial que a cobertura florestal desempenha na regulação climática regional e nacional. A remoção da vegetação compromete diretamente o ciclo hidrológico, ao reduzir a evapotranspiração e, conseqüentemente, a formação de nuvens e a precipitação na região. Essa interrupção no equilíbrio climático impacta não apenas a própria Amazônia, mas também regiões como o Centro-Oeste, Sudeste e Sul do país, que dependem das chuvas amazônicas para a manutenção da agricultura, dos reservatórios hídricos e de outros serviços ecossistêmicos (Messias *et al.*, 2021). Por conseguinte, o desmatamento contribui significativamente para o aumento das emissões de gases de efeito estufa, principalmente dióxido de carbono (CO₂), resultantes da queima e decomposição da biomassa vegetal, intensificando o aquecimento global. Essa dinâmica promove o aumento das temperaturas locais e regionais, potencializando eventos climáticos extremos, como secas prolongadas, ondas de calor e tempestades intensas. Estudos indicam que a perda da capacidade de evapotranspiração da floresta afeta o balanço hídrico e térmico de todo o território brasileiro, ampliando a variabilidade climática e agravando a vulnerabilidade socioambiental do país (Fearnside; Barbosa; Pereira, 2013).

Ademais, as mudanças climáticas afetam de maneira mais intensa as comunidades vulneráveis, especialmente aquelas situadas em países insulares e regiões costeiras, que enfrentam riscos elevados de eventos extremos como tempestades, e inundações (Blank; Blank, 2015). Tais impactos ambientais estão diretamente ligados ao aumento na incidência de doenças e proliferação de vetores, resultado da alteração nos padrões de temperatura e frequência de eventos extremos. O aquecimento global, causa mudanças na precipitação e aumento da temperatura

que afeta diretamente a expansão geográfica do *Aedes aegypti*, vetor da dengue, Zika e Chikungunya, que tem se adaptado a regiões anteriormente menos afetadas. Essas transformações criam cenários mais propícios à transmissão de doenças, ampliando tanto o número de casos quanto o período de circulação desses agentes infecciosos (Blank; Blank, 2015).

A precipitação na América do Sul varia conforme as regiões e estações do ano, sendo regulada por sistemas atmosféricos como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), frentes frias, ondas de leste e o regime de monções. No verão, há maior volume pluviométrico nas regiões Centro-Oeste e Sudeste, influenciado pela atuação desses sistemas tropicais, enquanto o Nordeste enfrenta uma estação seca mais prolongada. A relação entre precipitação e temperatura é estreita, uma vez que a variação térmica sazonal influencia diretamente a posição e intensidade desses sistemas. Durante o verão, a ZCAS se desloca para o sul, favorecendo as chuvas; no inverno, a atuação da circulação de Hadley e de movimentos atmosféricos subsidentes contribui para a redução das precipitações (Reboita *et al.*, 2010).

A evolução da temperatura média no Brasil ao longo das últimas décadas revela uma tendência positiva significativa, indicando um aumento contínuo e generalizado das temperaturas em todo o território nacional. Especificamente na Região Sudeste, observou-se um acréscimo médio de 0,6 °C entre os períodos de 1961 a 1990 e de 1991 a 2004. Considerando os valores anuais, identificou-se um incremento de aproximadamente 0,4 °C nas temperaturas máximas, médias e mínimas nesse intervalo, o que equivale a uma elevação média de cerca de 0,02 °C por ano. Em escala nacional, a análise detectou tendência de aquecimento ao longo de todo o ano, com diferentes regiões apresentando aumentos estatisticamente significativos em meses distintos. Esses resultados reforçam a constatação de um processo de aquecimento contínuo e progressivo, fortemente influenciado pelo aumento das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera (Salviano; Groppo; Pellegrino, 2016).

No Sul do Brasil, entre os anos de 1980 e 2016, observou-se uma tendência de aumento na intensidade e na frequência de eventos térmicos extremos, refletindo alterações significativas no regime climático regional. Os dados indicam uma ampliação da amplitude térmica diária, com redução nos extremos de temperaturas mínimas (TN) e aumento nos extremos de temperaturas máximas (TX), o que sugere um crescimento na ocorrência de dias mais quentes e uma diminuição na frequência

de dias e noites frias, especialmente nas áreas periféricas da região. Por outro lado, as regiões centrais apresentam comportamentos distintos, com padrões menos uniformes. As tendências de variação térmica são expressas em graus Celsius por década, sendo possível estimar o valor anual por meio da divisão por dez. Por exemplo, uma elevação de 0,2 °C por década representa aproximadamente 0,02 °C por ano (Lins *et al.*, 2022). Esses resultados evidenciam um processo contínuo de aquecimento regional, com potenciais impactos sobre a saúde, os ecossistemas e a dinâmica de doenças sensíveis ao clima, como aquelas transmitidas por vetores.

As variações de temperatura exercem influência significativa sobre a dinâmica populacional de mosquitos, especialmente aqueles vetores de doenças, como o *Aedes aegypti* e o *Aedes albopictus*. O aumento das temperaturas médias pode acelerar o ciclo de vida desses insetos, reduzindo o tempo necessário para seu desenvolvimento larval e aumentando suas taxas de reprodução e sobrevivência. (Liu-Helmersson *et al.*, 2016). Estudos indicam que a faixa térmica ideal para a transmissão do Zika vírus situa-se entre 25°C e 30°C, pois nessas condições há um aumento na taxa de reprodução e na longevidade dos vetores, além da redução do período de incubação viral, favorecendo a disseminação da doença. Em contrapartida, temperaturas abaixo de 15°C reduzem a atividade dos mosquitos, dificultando a transmissão, enquanto extremos de calor podem comprometer sua sobrevivência. (Rocklöv *et al.*, 2016)

Associado a esse processo de aquecimento global a alteração no regime de chuvas, com precipitações ocorrendo de forma desregulada e fora dos períodos sazonais habituais, tem impacto significativo na dinâmica de transmissão do vírus Zika. Essa mudança climática favorece diretamente a proliferação do *Aedes aegypti*, vetor primário do ZIKV, ao propiciar ambientes propícios para a oviposição e desenvolvimento das larvas, sobretudo pelo acúmulo de água parada em recipientes artificiais e naturais (Salviano; Groppo; Pellegrino, 2016). Chuvas intensas e mal distribuídas ao longo do ano têm potencial para gerar criadouros mesmo em estações tradicionalmente secas, desestruturando as ações de controle vetorial, que são usualmente organizadas com base em padrões climáticos previsíveis. Como consequência, aumenta-se o risco de surtos inesperados e de difícil contenção, reforçando a necessidade de estratégias permanentes de vigilância ambiental e ações integradas entre saúde pública, urbanismo e meio ambiente (Lopes *et al.*, 2022).

As maiores variações climáticas observadas no Brasil nas últimas décadas estão fortemente relacionadas à interação entre fenômenos oceânicos, como El Niño, La Niña e a Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO), com mudanças na circulação atmosférica e fatores ambientais locais, como o desmatamento. Essa combinação de elementos, potencializada por um cenário de mudanças climáticas globais, tem contribuído para o aumento da frequência e intensidade de eventos extremos, como secas prolongadas e períodos de precipitação excessiva. No Brasil, particularmente nos últimos dez anos, essas alterações impactaram significativamente o regime de chuvas e as vazões dos rios, afetando diretamente a estabilidade climática em diversas regiões. Eventos como a seca de 2010, considerada mais intensa que a de 2005, resultaram em quedas acentuadas nos níveis dos rios, comprometendo a navegação fluvial e o abastecimento de água. Ao mesmo tempo, houve aumento nas anomalias de precipitação, com registros de chuvas muito acima ou abaixo da média, frequentemente associadas aos ciclos de El Niño e La Niña (Coutinho *et al.*, 2018).

De acordo com análises recentes de séries temporais de precipitação, evidenciam-se mudanças significativas no regime de chuvas da região Sul do Brasil, com destaque para o aumento da intensidade, frequência e duração de eventos extremos de precipitação. Estudos indicam que, na última década, houve uma elevação expressiva no número de dias com chuvas superiores a 10 mm e 20 mm, além do crescimento da precipitação máxima diária. A aplicação do teste estatístico de Mann-Kendall revelou tendências positivas significativas em diversas estações pluviométricas, com aumentos de até 2,68 mm por ano na precipitação máxima diária, como observado na estação de Prudentópolis-PR. Além disso, registros mostram que a estação de Canguçu-RS apresentou um aumento de 29,43% na precipitação máxima diária com período de retorno de 100 anos, enquanto as estações de Pouso Redondo-SC e Pomerode-SC tiveram elevações de 14,92% e 10,74%, respectivamente. Essas alterações estão associadas a variabilidades naturais, como a Oscilação Decadal do Pacífico, e possivelmente aos efeitos do aquecimento global, que têm influenciado a dinâmica dos sistemas convectivos. A tendência de aumento tanto da precipitação extrema quanto da média tem impactos diretos sobre os recursos hídricos, a agricultura e o planejamento de desastres na região Sul, ressaltando a importância do monitoramento contínuo e da modelagem estatística para prever cenários futuros. (Pinheiro; Luís; Luiza, 2013)

A variação sazonal das chuvas na região Sul do Brasil apresenta padrões distintos ao longo do ano, sendo resultado direto da atuação de diferentes sistemas atmosféricos que influenciam o regime pluviométrico regional e, por consequência, sobre a dinâmica de vetores de doenças, como o *Aedes aegypti*, principal transmissor do vírus Zika. Durante o verão, observa-se um aumento na ocorrência de chuvas intensas e convectivas, especialmente nas porções norte da região, em função do aquecimento da superfície e da elevação dos níveis de umidade, o que favorece a formação de ambientes propícios à reprodução do vetor. O acúmulo de água proveniente dessas precipitações intensas amplia os criadouros disponíveis, elevando o risco de surtos de arboviroses como o Zika vírus, principalmente em áreas urbanas com deficiências em drenagem e saneamento (Cera; Ferraz, 2015). Apesar dessa relação entre precipitação e proliferação de vetores, estudos indicam que, entre os anos de 1976 e 2015, a maior parte das séries históricas de precipitação na região Sul permaneceu estacionária, sem variações estatisticamente significativas no volume total anual em mais de 87,9% das 197 estações pluviométricas analisadas. Apenas 9,6% apresentaram tendência de aumento e 2,5% de redução, sendo o estado do Paraná a unidade da federação com maior número de estações com tendência positiva (cerca de 18%). Em contrapartida, em algumas localidades do Rio Grande do Sul, observou-se aumento da precipitação na média sazonal de verão, com variação acumulada de até 93 mm ao longo do período de 1911 a 2006 (Gonçalves; Back, 2018). Essas evidências reforçam a importância do monitoramento climático contínuo e da implementação de estratégias de controle vetorial ajustadas às condições sazonais, com especial atenção aos meses mais úmidos, que coincidem com os períodos de maior risco de transmissão do Zika vírus.

2.1.7 Metodologia

2.1.7.1 Tipo de estudo, local e realização

Trata-se de um estudo quantitativo, observacional, de delineamento epidemiológico ecológico, com abordagem descritiva e analítica, realizado junto ao curso de Medicina da Universidade Federal da Fronteira Sul – campus Passo Fundo/RS, que será realizado entre agosto de 2025 a junho de 2026.

2.1.7.2 População e amostragem

Foram incluídos inicialmente os dez municípios com maior número proporcional de casos notificados de Zika vírus a cada 100 mil habitantes em cada um dos três estados da Região Sul do Brasil — Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná — no período compreendido entre 2016 e 2024. Além da análise geral de 2016 a 2024, também será analisado dois recortes temporais:

1. Análise exclusiva do ano de 2016, representando o início da introdução autóctone do vírus na Região Sul;
2. Análise das cidades com casos notificados em todos os anos do período (2016–2024), totalizando nove municípios, para avaliar tendências temporais contínuas e correlações de longo prazo com variáveis climáticas.

Os critérios de exclusão adotados foram:

- Municípios com população inferior a 5 mil habitantes, devido à instabilidade na taxa de incidência;
- Municípios com menos de 20 casos notificados de Zika vírus no período analisado;
- Cidades geograficamente adjacentes, optando-se por incluir apenas uma delas — aquela com maior incidência proporcional de casos — de modo a garantir variabilidade espacial e representatividade climática. Como exemplo, no estado de Santa Catarina, entre Balneário Camboriú e Itajaí, foi selecionada a segunda por apresentar maior incidência proporcional.

Por abranger a totalidade dos registros dentro dos critérios estabelecidos não foi realizado cálculo amostral, visto que todos os casos notificados nos municípios selecionados foram incluídos.

2.1.7.3 Variáveis, instrumentos e coleta de dados

Inicialmente, as informações utilizadas neste estudo serão extraídas do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), que reúne dados registrados por profissionais de saúde por meio da “Ficha de Notificação/Conclusão” (Anexo I). Esse formulário é um instrumento oficial elaborado pelo Ministério da Saúde, contendo a definição padronizada de caso suspeito de Zika vírus, a qual deve

ser utilizada como referência na identificação e notificação dos casos nas unidades de saúde.

A coleta dos dados será realizada pelo acadêmico responsável pelo trabalho, utilizando um computador pessoal com acesso à internet. Os dados do SINAN serão obtidos por meio da plataforma Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS)–Tabelas, de acesso público, hospedada no site oficial do Ministério da Saúde, disponível no seguinte endereço: <https://datasus.saude.gov.br/informacoes-de-saude-tabnet/>.

Será selecionada a opção “ZIKA VÍRUS - NOTIFICAÇÕES REGISTRADAS NO SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE AGRAVOS DE NOTIFICAÇÃO - BRASIL”. Na organização da tabela de dados, será escolhida, na seção “LINHA”, a opção “MUNICÍPIO DE NOTIFICAÇÃO”; na seção “COLUNA”, a opção “UF DE NOTIFICAÇÃO”; e, em “CONTEÚDO”, a variável “CASOS PROVÁVEIS”. Na aba “PERÍODOS DISPONÍVEIS”, serão selecionados os anos de 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 e 2024. Em seguida, na seção “SELEÇÕES DISPONÍVEIS”, será clicado com o mouse em “REGIÃO DE NOTIFICAÇÃO – REGIÃO SUL” e, posteriormente, em “UF DE NOTIFICAÇÃO”, marcando-se os estados de RIO GRANDE DO SUL, SANTA CATARINA e PARANÁ”. Após a definição de cada variável, será acionado o botão “MOSTRAR”, o qual exibirá os dados correspondentes em uma nova guia da plataforma. Então, serão selecionados dez municípios de cada estado da região — Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná — com base naqueles que apresentaram o maior número de casos da doença proporcional à população no período de 2016 a 2024.

A partir dessa seleção, será realizada uma análise ano a ano dentro de cada município, calculando o índice de novos casos, com o objetivo de identificar a variação da incidência do Zika vírus ao longo do tempo. Os dados obtidos serão organizados de forma a permitir a visualização da evolução temporal da doença em cada localidade.

Posteriormente, serão coletadas informações referentes à temperatura média sazonais e aos períodos sazonais de precipitação pluviométrica, com base em dados da NASA POWER (Prediction of Worldwide Energy Resources). Os dados da NASA estarão disponíveis no site “<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>”, acesse a aba “SINGLE POINT”, selecionar a “região que deseja procurar” e clicar em “BUSCAR”, depois selecione as “variáveis desejadas como temperatura média e

pluviometria mensal/anualmente” em seguida clique em “Submit” para fazer o download dos dados. Em seguida, será realizado o cruzamento entre os dados climáticos e os dados epidemiológicos, a fim de analisar possíveis correlações entre a incidência do Zika vírus, a temperatura média e o volume de chuvas.

2.1.7.4 Processamento, controle de qualidade e análise dos dados

Os dados obtidos referentes à incidência do Zika vírus (ZIKV), bem como os fatores climáticos (índice de precipitação pluviométrica e temperatura média anual), serão organizados utilizando o programa de código aberto LibreOffice versão 25.2.4, com o objetivo de facilitar a visualização, tabulação e análise estatística das informações.

Inicialmente, será feita uma análise ano a ano, comparando a incidência de casos notificados entre os anos dentro de cada município. Essa análise permitirá a identificação de variações temporais na incidência do Zika vírus ao longo do período avaliado. Também, com os dados climáticos de cada município, será realizada uma análise comparativa entre os regimes climáticos de cada ano e a respectiva incidência do Zika vírus, com o objetivo de investigar possíveis correlações entre as variações ambientais e o comportamento epidemiológico da doença.

Para mensurar adequadamente a incidência do Zika vírus, será calculado o coeficiente de incidência anual para cada município por 100.000 habitantes, utilizando-se a fórmula: $\text{Coeficiente de incidência} = (\text{Número de casos anuais} / \text{População estimada anual}) \times 100.000 \text{ habitantes}$

Os dados populacionais anuais por município serão obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Este cálculo permitirá padronizar a comparação entre municípios com diferentes tamanhos populacionais, viabilizando uma análise epidemiológica mais precisa da disseminação da doença ao longo do tempo. Para isso, serão utilizados os dados populacionais disponíveis que correspondem ao período analisado

Após a padronização dos coeficientes de incidência, será realizada uma análise descritiva das taxas de incidência trimestrais, organizadas de forma a coincidir com as estações do ano nos municípios selecionados, com o objetivo de identificar padrões sazonais e comportamentos gerais dos dados ao longo do tempo. Como o foco do estudo é investigar a existência de tendências temporais — e não apenas

diferenças pontuais entre anos — será aplicado o teste de Mann-Kendall, que é indicado para detectar tendências monotônicas (crescente ou decrescente) em séries temporais, sem pressupor distribuição normal dos dados. Esse teste é amplamente utilizado em estudos ambientais e epidemiológicos que envolvem séries históricas. Complementarmente, poderá ser avaliada a existência de tendência linear por meio de regressão simples, considerando o tempo como variável independente. A verificação da normalidade dos dados será feita de forma exploratória com o teste de Shapiro-Wilk, apenas para fins de conhecimento adicional, uma vez que os testes de tendência adotados não exigem esse pressuposto. Além disso, serão conduzidas análises exploratórias adicionais para investigar modelos de regressão que estimem os efeitos individuais de variáveis climáticas, como temperatura e precipitação, bem como os efeitos de sua interação, buscando compreender de forma mais aprofundada os possíveis fatores associados à variação das taxas de incidência ao longo do tempo. Em todos os testes estatísticos será adotado um nível de significância de $p < 0,05$. Todas as análises estatísticas serão realizadas com o auxílio do software PSPP, versão 2.0.1, uma ferramenta de distribuição livre voltada para análise estatística de dados, sendo adequada para a execução dos testes estatísticos propostos neste estudo.

2.1.7.5 Aspectos éticos

O presente estudo, de natureza ecológica, fundamenta-se em dados secundários de domínio público, não sendo, portanto, passível de submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa, conforme dispensa estabelecida pela Resolução nº 510, de 7 de abril de 2016, do Conselho Nacional de Saúde (CNS).

Riscos: Considerando que os dados provenientes do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN) são apresentados de forma agregada e sem qualquer identificação individual, não há riscos relacionados à privacidade ou à exposição dos sujeitos envolvidos. Adicionalmente, para assegurar a confidencialidade e eliminar qualquer possibilidade remota de risco, os dados serão armazenados em ambiente de acesso restrito à pesquisadora e excluídos definitivamente após cinco anos da data de coleta.

Benefícios: espera-se que os resultados obtidos contribuam significativamente para o aprimoramento das estratégias de vigilância e controle do

vírus Zika no âmbito do Sistema Único de Saúde (SUS), especialmente na Região Sul do Brasil. Além disso, os achados serão divulgados em eventos científicos, por meio de apresentações orais e resumos expandidos, bem como submetidos à publicação em periódicos acadêmicos, com o objetivo de ampliar o corpo de conhecimento da comunidade científica.

2.1.8 Recursos

Os recursos financeiros necessários estão dispostos no Quadro 1 a seguir, sendo todos custeados pelo acadêmico autor desse projeto.

Quadro 1 - Orçamento

Item	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Valor total
Impressões	Impressão	50	R\$ 1,00	R\$ 50,00
Computador	Computador	1	R\$ 3500,00	R\$ 3500,00
Acesso à internet	mês	15	R\$ 80,00	R\$ 1200,00
Total				R\$4750,00

Fonte: Própria, 2025.

2.1.9 Cronograma

O cronograma de execução das atividades, através dos meses de agosto de 2025 até julho de 2026, está descrito no quadro 2 a seguir.

Quadro 2 - cronograma de execução (agosto/2025 a julho/2026).

Atividades/ período	ago 202 5	set 202 5	out 202 5	nov 202 5	dez 202 5	jan 202 6	fev 202 6	mar 202 6	abr 202 6	mai 202 6	jun 202 6	jul 202 6
Revisão de literatura	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Coleta de dados	X	X	X	X	X	X	X					
Processamento	X	X	X	X	X	X	X					

análise dos dados												
Elaboração do artigo científico								X	X	X	X	X
Apresentação e divulgação dos resultados											X	X

Fonte: Própria, 2025.

REFERÊNCIAS

BARBI, L. et al. Prevalence of Guillain-Barré syndrome among Zika virus infected cases: a systematic review and meta-analysis. **The Brazilian Journal of Infectious Diseases**, v. 22, n. 2, p. 137–141, mar. 2018.

BESNARD, M.; LASTÈRE, S.; TEISSIER, A.; CAO-LORMEAU, V. M.; MUSSO, D. Evidence of perinatal transmission of Zika virus, French Polynesia, December 2013 and February 2014. **Euro Surveill**, v. 19, n. 13, 2014. Disponível em: <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=20751>. Acesso em: 31 mar. 2025.

BLANK, D. M. P.; BLANK, D. M. P. O CONTEXTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AS SUAS VÍTIMAS. **Mercator (Fortaleza)**, v. 14, n. 2, p. 157–172, 1 ago. 2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. **Boletim Epidemiológico: Monitoramento dos casos de Síndrome Congênita associada à infecção pelo vírus Zika, 2015 a 2022**. Brasília: Ministério da Saúde, 2023. Disponível em: <http://plataforma.saude.gov.br/anomalias-congenitas/boletim-epidemiologico-SVSA-05-2023.pdf>. Acesso em: 01 maio 2025.

CALVET, G. et al. Detection and sequencing of Zika virus from amniotic fluid of fetuses with microcephaly in Brazil: a case study. **The Lancet Infectious Diseases**, v. 16, n. 6, p. 653–660, jun. 2016.

CAO-LORMEAU, V.-M. et al. Zika Virus, French Polynesia, South Pacific, 2013. **Emerging Infectious Diseases**, v. 20, n. 6, p. 1084–1086, jun. 2014.

CECCON, F. DE O. et al. Transmissão do Zika vírus por via sexual: Uma revisão sistemática / Transmission of Zika virus by sexual means: A systematic review. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 6, p. 18125–18132, 2020.

CERA, J. C.; FERRAZ, S. E. T. VARIAÇÕES CLIMÁTICAS NA PRECIPITAÇÃO NO SUL DO BRASIL NO CLIMA PRESENTE E FUTURO. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 1, p. 81–88, mar. 2015.

CIOTA, A. T. et al. Effects of Zika Virus Strain and Aedes Mosquito Species on Vector Competence. **Emerging Infectious Diseases**, v. 23, n. 7, p. 1110–1117, jul. 2017.

COUTINHO, E. D. C. et al. VARIABILIDADE CLIMÁTICA DA PRECIPITAÇÃO NA BACIA AMAZÔNICA BRASILEIRA. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 25 jun. 2018.

DICK, G. W.; KITCHEN, S. F.; HADDOW, A. J. Zika virus. I. Isolations and serological specificity. **Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 46, p. 509–520, 1952.

DUFFY, M. R. *et al.* Zika virus outbreak on Yap Island, Federated States of Micronesia. **New England Journal of Medicine**, v. 360, n. 24, p. 2536–2543, 2009. DOI: 10.1056/NEJMoa0805715.

ENFISSI, Antoine; CODRINGTON, John; ROOSBLAD, Jimmy; KAZANJI, Mirdad. Zika virus genome from the Americas. *The Lancet*, v. 387, n. 10020, p. 197-198, 2016.

FARIA, N. R. *et al.* Zika virus in the Americas: Early epidemiological and genetic findings. **Science (New York, N.Y.)**, v. 352, n. 6283, p. 345–349, 15 abr. 2016.

FEARNSIDE, P. M.; BARBOSA, R. I.; PEREIRA, V. B. Emissões de gases do efeito estufa por desmatamento e incêndios florestais em Roraima: fontes e sumidouros. **REVISTA AGRO@MBIENTE ON-LINE**, v. 7, n. 1, p. 95, 3 maio 2013.

FOY, B. D.; KOBYLINSKI, K. C.; FOY, J. L. C.; BLITVICH, B. J.; TRAVASSOS DA ROSA, A.; HADDOW, A. D.; LANCIOTTI, R. S.; TESH, R. B. Probable non-vector-borne transmission of Zika virus, Colorado, USA. **Emerging Infectious Diseases**, v. 17, n. 5, 2011. DOI: 10.3201/eid1705.101939. Disponível em: <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=20751>. Acesso em: 31 mar. 2025.

GERMAN ADVISORY COMMITTEE BLOOD (ARBEITSKREIS BLUT), Subgroup 'Assessment of Pathogens Transmissible by Blood'. Zika Virus (ZIKV). **Transfusion Medicine and Hemotherapy**, v. 43, p. 436–446, 2016. DOI: 10.1159/000447782.

GONÇALVES, F. N.; BACK, Á. J. Análise da variação espacial e sazonal e de tendências na precipitação da região sul do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, p. 592–602, jul. 2018.

GREGIANINI, T. S. *et al.* Emerging arboviruses in Rio Grande do Sul, Brazil: Chikungunya and Zika outbreaks, 2014-2016. **Reviews in Medical Virology**, v. 27, n. 6, p. e1943, 20 set. 2017.

GUANCHE GARCELL, H. *et al.* Clinical relevance of Zika symptoms in the context of a Zika Dengue epidemic. **Journal of Infection and Public Health**, v. 13, n. 2, p. 173–176, 1 fev. 2020.

HYGINO DA CRUZ, L. C. *et al.* Neuroimaging Findings of Zika Virus–Associated Neurologic Complications in Adults. **American Journal of Neuroradiology**, v. 39, n. 11, p. 1967–1974, 17 maio 2018.

IPCC. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden e C.E. Hanson (Eds.). Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 976 p.

KROW-LUCAL, Elisabeth R. *et al.* Estimated Incubation Period for Zika Virus Disease. **Emerging Infectious Diseases**, v. 23, n. 5, p. 841-846, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3201/eid2305.161715>. Acesso em: 16 abr. 2025.

LINS, R. *et al.* Análise de extremos de temperatura no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 30, p. 445–460, 4 mar. 2022.

LIU-HELMERSSON, J. *et al.* Climate Change and Aedes Vectors: 21st Century Projections for Dengue Transmission in Europe. **EBioMedicine**, v. 7, p. 267–277, maio 2016.

LOPES, P. H. S. *et al.* Incidência dos casos de Dengue (2011-2017), Zika e Febre Chikungunya (2016-2017) em Balsas, Maranhão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 1, p. e44511123916, 11 jan. 2022.

LOWE, R. *et al.* Nonlinear and delayed impacts of climate on dengue risk in Barbados: A modelling study. **PLOS Medicine**, v. 15, n. 7, p. e1002613, 17 jul. 2018.

LOWE, Rachel; BARCELLOS, Christovam; BRASIL, Patrícia; CRUZ, Oswaldo G.; HONÓRIO, Nildimar Alves; KUPER, Hannah; CARVALHO, Marília Sá. A epidemia do vírus Zika no Brasil: da descoberta às implicações futuras. 2018.

MARTINES, R. B. *et al.* Notes from the Field: Evidence of Zika Virus Infection in Brain and Placental Tissues from Two Congenitally Infected Newborns and Two Fetal Losses — Brazil, 2015. **MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report**, v. 65, n. 06, p. 159–160, 19 fev. 2016.

MESSIAS, C. G. *et al.* ANÁLISE DAS TAXAS DE DESMATAMENTO E SEUS FATORES ASSOCIADOS NA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA NAS ÚLTIMAS TRÊS DÉCADAS. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 52, n. 0, p. 18–41, 2 set. 2021.

MLAKAR, J. *et al.* Zika Virus Associated with Microcephaly. **New England Journal of Medicine**, v. 374, n. 10, p. 951–958, 10 mar. 2016.

MUSSO, D.; NHAN, T.; ROBIN, E.; ROCHE, C.; BIERLAIRE, D.; ZISOU, K.; SHAN YAN, A.; CAO-LORMEAU, V. M.; BROULT, J. Potential for Zika virus transmission through blood transfusion demonstrated during an outbreak in French Polynesia, November 2013 to February 2014. **Euro Surveill.**, v. 19, n. 14, 2014. Disponível em: <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=20761>. Acesso em: 31 mar. 2025.

PAKHURI, R. K.; MEYER, L. A. (eds.). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2014. 151 p.

PINHEIRO, A.; LUÍS, D.; LUIZA, R. Tendência das séries temporais de precipitação da região sul do Brasil. **Revista Brasileira De Meteorologia**, v. 28, n. 3, p. 281–290, 1 set. 2013.

POMAR, L. *et al.* Zika virus during pregnancy: From maternal exposure to congenital Zika virus syndrome. **Prenatal Diagnosis**, v. 39, n. 6, p. 420–430, abr. 2019.

POSTLER, T. S. *et al.* Renaming of the genus Flavivirus to Orthoflavivirus and extension of binomial species names within the family Flaviviridae. **Archives of Virology**, v. 168, n. 9, 10 ago. 2023.

- REBOITA, M. S. *et al.* Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185–204, jun. 2010.
- ROCKLÖV, J. *et al.* Assessing Seasonal Risks for the Introduction and Mosquito-borne Spread of Zika Virus in Europe. **EBioMedicine**, v. 9, p. 250–256, jul. 2016.
- RODRIGUEZ-MORALES, A. J. Zika: the new arbovirus threat for Latin America. **The Journal of Infection in Developing Countries**, v. 9, n. 06, p. 684–685, 4 jul. 2015.
- SALVIANO, M. F.; GROPPPO, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 64–73, mar. 2016.
- SILVA, G. S. *et al.* Zika virus: Report from the task force on tropical diseases by the world Federation of Societies of intensive and critical care medicine. **Journal of Critical Care**, v. 46, p. 106–109, ago. 2018.
- SIROHI, D. *et al.* The 3.8 Å resolution cryo-EM structure of Zika virus. **Science**, v. 352, n. 6284, p. 467–470, 31 mar. 2016.
- SOEK, F. J. *et al.* Mudanças Climáticas e Infestação por Aedes Aegypti na Região Sul do Brasil. **Geo UERJ**, n. 42, 19 jun. 2023.
- TEIXEIRA, G. A. *et al.* Análise do conceito síndrome congênita pelo Zika vírus. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 25, n. 2, p. 567–574, fev. 2020. Disponível em: DOI: 10.1590/1413-81232020252.30002017. Acesso em: 19 abr. 2025.
- VASILAKIS, N.; WEAVER, S. C. Flavivirus transmission focusing on Zika. **Current Opinion in Virology**, v. 22, p. 30–35, fev. 2017.
- ZANLUCA, Camila *et al.* First report of autochthonous transmission of Zika virus in Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, v. 110, n. 4, p. 569–572, jun. 2015. DOI:10.1590/0074-02760150192.
- ZUNT, J. R. Manifestaciones neurológicas de la infección por el virus zika. **Anales de la Facultad de Medicina**, v. 78, n. 1, p. 83, 16 maio 2017.

ANEXO I

República Federativa do Brasil
Ministério da Saúde

SINAN SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE AGRAVOS DE NOTIFICAÇÃO FICHA DE NOTIFICAÇÃO/CONCLUSÃO

Nº

Dados Gerais	1 Tipo de Notificação		2 - Individual	
	2 Agravado/doença		Código (CID10)	3 Data da Notificação
	4 UF	5 Município de Notificação	Código (IBGE)	
	6 Unidade de Saúde (ou outra fonte notificadora)		Código	7 Data dos Primeiros Sintomas
Notificação Individual	8 Nome do Paciente		9 Data de Nascimento	
	10 (ou) Idade	11 Sexo M - Masculino F - Feminino 1 - Ignorado	12 Gestante	13 Raça/Cor
	14 Escolaridade		15 Número do Cartão SUS	
	16 Nome da mãe		17 UF	
Dados de Residência	18 Município de Residência		Código (IBGE)	19 Distrito
	20 Bairro	21 Logradouro (rua, avenida,...)		Código
	22 Número	23 Complemento (apto., casa, ...)	24 Geo campo 1	
	25 Geo campo 2	26 Ponto de Referência	27 CEP	
Conclusão	28 (DDD) Telefone		29 Zona	30 País (se residente fora do Brasil)
	31 Data da Investigação		32 Classificação Final	33 Critério de Confirmação/Descarte
	Local Provável da Fonte de Infecção		34 O caso é autóctone do município de residência?	
	35 UF		36 País	
Conclusão	37 Município		Código (IBGE)	38 Distrito
	39 Bairro		40 Doença Relacionada ao Trabalho	
	41 Evolução do Caso		42 Data do Óbito	
	43 Data do Encerramento		44	
Informações complementares e observações				
Observações adicionais				
Investigador	Município/Unidade de Saúde		Cód. da Unid. de Saúde	
	Nome	Função	Assinatura	
Notificação/conclusão		Sinan NET		SVS 27/09/2005

2.2 RELATÓRIO DE PESQUISA

A presente pesquisa, intitulada “A relação das mudanças climáticas na incidência dos casos de Zika vírus na Região Sul do Brasil”, teve como objetivo analisar a influência das variações climáticas — especialmente o aumento da temperatura média e as alterações no regime de chuvas — sobre a incidência do Zika vírus na Região Sul do país, no período compreendido entre os anos de 2016 e 2024.

O projeto foi desenvolvido no âmbito da disciplina de Trabalho de Curso I, durante o primeiro semestre de 2025, e teve continuidade nas etapas subsequentes, Trabalho de Curso II (segundo semestre de 2025) e Trabalho de Curso III (primeiro semestre de 2026). A pesquisa foi orientada pelo Prof. Dr. Thiago Fonseca Alves França e coorientada pelo Prof. Dr. Gustavo Olszanski Acrani, vinculados ao curso de Medicina da Universidade Federal da Fronteira Sul – Campus Passo Fundo.

Trata-se de um estudo de natureza epidemiológica, com abordagem quantitativa e delineamento observacional do tipo ecológico, de caráter descritivo e analítico. A coleta de dados foi realizada entre os meses de agosto de 2025 e fevereiro de 2026, utilizando exclusivamente dados secundários de domínio público, extraídos do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), disponível no Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS).

Durante o processo de coleta, houve a substituição dos bancos de dados meteorológicos inicialmente previstos — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) — pelo banco de dados da NASA POWER (Prediction of Worldwide Energy Resources). Essa substituição ocorreu em razão da ausência de dados climáticos completos e padronizados nas fontes nacionais, especialmente no que se refere às séries históricas de temperatura média e precipitação diária. O banco de dados da NASA POWER apresentou maior consistência temporal e espacial, permitindo melhor correlação com os dados epidemiológicos e redução de possíveis vieses analíticos.

Inicialmente, foram incluídos os dez municípios com maior número proporcional de casos notificados de Zika vírus a cada 100 mil habitantes, em cada um dos estados da Região Sul — Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná —, no período de 2016 a 2024. Entretanto, durante o refinamento da amostra e a etapa de checagem de consistência dos dados, foram aplicados novos critérios de inclusão e exclusão,

resultando em um total de 29 municípios analisados: 10 no Paraná, 10 no Rio Grande do Sul e 9 em Santa Catarina.

Os critérios de exclusão adotados foram os seguintes:

- Municípios com população inferior a 5 mil habitantes, devido ao risco de flutuação estatística e instabilidade na taxa de incidência;
- Municípios com menos de 20 casos notificados de Zika vírus no período estudado;
- Cidades vizinhas geograficamente muito próximas, a fim de garantir maior variabilidade espacial dos dados meteorológicos;
- Nos casos em que havia cidades contíguas, optou-se por incluir aquela com o maior número de casos por 100 mil habitantes.

Um exemplo dessa decisão ocorreu no estado de Santa Catarina, em que Balneário Camboriú e Itajaí apresentavam características geográficas semelhantes e proximidade territorial; neste caso, Itajaí foi selecionada por apresentar maior incidência proporcional de casos. Esse mesmo critério foi aplicado de forma consistente em outros estados, buscando equilíbrio regional e representatividade climática.

Além da análise geral do período de 2016 a 2024, foram definidos dois recortes:

1. Recorte temporal: Análise exclusiva do ano de 2016, envolvendo todas as cidades selecionadas de acordo com os critérios acima, a fim de caracterizar o comportamento epidemiológico inicial da introdução autóctone do vírus na Região Sul;
2. Recorte da persistência epidemiológica: Análise específica das cidades que apresentaram ao menos um caso notificado em todos os anos do período estudado (2016–2024), totalizando nove municípios, permitindo a avaliação de tendência temporal contínua e a correlação com as variáveis climáticas de longo prazo.

Essas adequações metodológicas garantiram maior robustez estatística e melhor representatividade espacial e temporal dos dados, reduzindo potenciais distorções e fortalecendo a confiabilidade dos resultados obtidos.

As informações foram organizadas e tabuladas no programa LibreOffice Calc (versão 25.2.4); inicialmente, previu-se a utilização do software PSPP (versão 2.0.1) para a condução das análises estatísticas e a aplicação de um modelo de regressão linear simples. No entanto, a natureza e a distribuição dos dados inviabilizaram o

preenchimento dos pressupostos necessários para a regressão linear clássica. Diante disso, as análises foram migradas para o ambiente computacional R (versão 4.6.0). Para contornar as limitações observadas, ajustou-se um Modelo Linear Generalizado (GLM) com distribuição binomial negativa (tipo 2), adequado para dados de contagem com superdispersão. O modelo incluiu um ajuste por offset populacional e uma estrutura de correlação autorregressiva de ordem 1, (AR(1)), para tratar a dependência temporal. Os scripts de programação empregados nas análises no ambiente R foram desenvolvidos com o suporte do modelo de linguagem Gemini 3.0 Pro (Google).

Foram adotados níveis de significância de $p < 0,05$ e intervalo de confiança de 95% (IC95%). Por tratar-se de um estudo baseado em dados secundários de acesso público e anônimos, o projeto não necessitou de submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa, conforme dispensa prevista pela Resolução nº 510, de 7 de abril de 2016, do Conselho Nacional de Saúde (CNS). Ainda assim, todos os dados foram armazenados em ambiente de acesso restrito, assegurando a confidencialidade e a integridade das informações.

Após a conclusão da análise dos dados, foi redigido o artigo científico intitulado “A influência de variáveis climáticas e sazonalidade na incidência de Zika Vírus na região sul do Brasil”, elaborado entre os meses de março e julho de 2026, durante a vigência da disciplina Trabalho de Curso III. O manuscrito foi estruturado conforme as normas de publicação da Revista de Saúde Pública, periódico científico nacional escolhido para futura submissão, por sua relevância na divulgação de estudos sobre epidemiologia e fatores ambientais.

O artigo apresenta os resultados referentes à correlação entre variáveis climáticas (temperatura média e precipitação pluviométrica) e a incidência do Zika vírus nos municípios analisados da Região Sul do Brasil, destacando a influência das mudanças climáticas na distribuição geográfica e sazonalidade do vetor *Aedes aegypti*. A redação final contemplou a interpretação dos resultados obtidos, a discussão comparativa com a literatura científica recente e a proposição de recomendações para o aprimoramento das ações de vigilância em saúde e controle vetorial frente ao avanço das arboviroses em contextos de alterações climáticas.

3. ARTIGO CIENTÍFICO

A INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E SAZONALIDADE NA INCIDÊNCIA DE ZIKA VÍRUS NA REGIÃO SUL DO BRASIL.

THE INFLUENCE OF CLIMATIC VARIABLES AND SEASONALITY ON ZIKA VIRUS INCIDENCE IN SOUTHERN BRAZIL.

Wallace Costa Honorio¹

wallace.honorio@estudante.uffs.edu.br

Gustavo Olszanski Acrani²

gustavo.acrani@uffs.edu.br

Thiago Fonseca Alves França³

thiago.franca@uffs.edu.br

^{1,2,3} Universidade Federal da Fronteira Sul. Rua Capitão Araújo, 20. Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brasil. CEP: 99.010-200.

¹ Acadêmico curso de Medicina da Universidade Federal da Fronteira Sul - campus Passo Fundo, RS.

^{2,3} Docente do Programa do Curso de Medicina da Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Passo Fundo, RS.

RESUMO

Introdução: O vírus Zika (ZIKV) é um arbovírus da família *Flaviviridae* transmitido principalmente pelo *Aedes aegypti*, cujo ciclo de vida é diretamente influenciado por fatores climáticos como temperatura e precipitação. Na Região Sul do Brasil, historicamente considerada de menor risco para arboviroses tropicais, a transmissão autóctone foi confirmada em 2016, em contexto favorecido pelo fenômeno El Niño 2015–2016. O presente estudo teve como objetivo analisar a relação entre variáveis climáticas e a incidência de ZIKV na Região Sul do Brasil. **Metodologia:** Trata-se de um estudo epidemiológico ecológico baseado em dados secundários do Sistema de

Informação de Agravos de Notificação (SINAN) e da base NASA POWER, abrangendo municípios dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, no período de 2016 a 2024. Foram excluídos municípios com população inferior a 5 mil habitantes, com menos de 20 casos notificados no período e municípios geograficamente contíguos com características climáticas semelhantes, selecionando-se aquele com maior incidência proporcional. Foram analisadas temperatura média (°C), precipitação acumulada (mm), Índice De Martonne (indicador climático que relaciona a precipitação e a temperatura para avaliar o grau de umidade de uma região) e estações. A modelagem estatística utilizou Modelo Linear Generalizado (GLM) para dados longitudinais, com distribuição binomial negativa e estrutura de correlação autorregressiva de primeira ordem (AR1), com *offset* populacional e efeito fixos para todos os preditores. Foram desenvolvidos quatro modelos para dois recortes temporais distintos e para um recorte de persistência epidemiológica (que tenha ao menos um caso em cada trimestre), sendo eles: recorte temporal do período global (2016–2024) com 29 municípios, recorte temporal do ano de 2016 com 9 municípios e o recorte de persistência epidemiológica em municípios de 2016 a 2024 com 9 municípios. **Resultados:** A amostra total compreendeu 3.317 casos para recorte global, 2.109 casos no recorte do ano de 2016 e 2.679 casos no recorte com notificação contínua. A sazonalidade foi o principal preditor da incidência em todos os recortes. As estações verão e outono apresentaram associação consistente e significativa com maior incidência em relação ao inverno, com aumentos que variaram de 92% no recorte temporal de transmissão contínua e 3.990% no recorte temporal de 2016. As variáveis climáticas contínuas (precipitação (mm), temperatura (°C) e Índice De Martonne) apresentaram significância estatística quando analisadas sem a inclusão da sazonalidade, porém perderam-na quando a mesma foi incluída, sugerindo que o efeito climático é mediado pela variação sazonal. Os valores de R^2 foram baixos, os maiores valores foram do modelo 2 (precipitação, temperatura e estação) com 0,004 e 0,197. **Conclusão:** A sazonalidade constitui o principal preditor climático da incidência de ZIKV na Região Sul, com concentração de casos no verão e outono. A persistência de casos em nove municípios ao longo de todo o período indica circulação viral contínua em região subtropical. Os achados reforçam a necessidade de intensificação da vigilância epidemiológica e do controle vetorial durante as estações mais quentes, especialmente no contexto das mudanças climáticas globais e da expansão da área adequada para mosquitos *Aedes*.

Palavras-chave: Zika vírus; Mudança climática; *Aedes*; Infecções por Arbovírus.

ABSTRACT

Introduction: Zika virus (ZIKV) is an arbovirus of the Flaviviridae family transmitted primarily by *Aedes aegypti*, whose life cycle is directly influenced by climatic factors such as temperature and precipitation. In the Southern Region of Brazil, historically considered at lower risk for tropical arboviruses, autochthonous transmission was confirmed in 2016, in a context favored by the 2015–2016 El Niño phenomenon. The present study aimed to analyze the relationship between climatic variables and ZIKV incidence in the Southern Region of Brazil. **Methodology:** This is an ecological epidemiological study based on secondary data from the Notifiable Diseases Information System (SINAN) and the NASA POWER database, covering municipalities in the states of Paraná, Santa Catarina, and Rio Grande do Sul, from 2016 to 2024. Municipalities with populations below 5,000 inhabitants, with fewer than 20 reported cases during the period, and geographically contiguous municipalities with similar climatic characteristics were excluded, selecting the one with the highest proportional incidence. Mean temperature (°C), accumulated precipitation (mm), De Martonne Index (a climatic indicator that relates precipitation and temperature to assess the degree of humidity in a region), and seasons were analyzed. Statistical modeling used a Generalized Linear Model (GLM) for longitudinal data, with negative binomial distribution and first-order autoregressive correlation structure (AR1), with population offset and fixed effects for all predictors. Four models were developed for two distinct temporal periods and for an epidemiological persistence period (having at least one case in each quarter): global period temporal analysis (2016–2024) with 29 municipalities, 2016 temporal analysis with 9 municipalities, and epidemiological persistence analysis in municipalities from 2016 to 2024 with 9 municipalities. **Results:** The total sample comprised 3,317 cases for the global analysis, 2,109 cases in the 2016 analysis, and 2,679 cases in the continuous notification analysis. Seasonality was the main predictor of incidence across all analyses. Summer and autumn seasons showed consistent and significant association with higher incidence compared to winter, with increases ranging from 92% in the continuous transmission temporal analysis to 3,990% in the 2016 temporal analysis. Continuous climatic variables (precipitation [mm], temperature [°C], and De Martonne Index) showed statistical significance when analyzed without including seasonality, but lost significance when it

was included, suggesting that the climatic effect is mediated by seasonal variation. R^2 values were low, with the highest values from model 2 (precipitation, temperature, and season) at 0.004 and 0.197. **Conclusion:** Seasonality constitutes the main climatic predictor of ZIKV incidence in the Southern Region, with case concentration in summer and autumn. The persistence of cases in nine municipalities throughout the entire period indicates continuous viral circulation in a subtropical region. The findings reinforce the need for intensified epidemiological surveillance and vector control during warmer seasons, especially in the context of global climate change and the expansion of suitable areas for *Aedes* mosquitoes.

Keywords: Zika virus; Climate change; *Aedes aegypti*; Arbovirus infections.

INTRODUÇÃO

A identificação inicial do vírus Zika (ZIKV) ocorreu em 1947, em Uganda, a partir do isolamento do patógeno em um macaco sentinela durante estudos epidemiológicos (Dick *et al.*, 1952). Trata-se de um arbovírus pertencente à família *Flaviviridae* e ao gênero *Flavivirus*, transmitido principalmente por mosquitos hematófagos, com destaque para *Aedes aegypti* como vetor primário. Considerado um vírus emergente, o ZIKV apresenta elevado potencial de disseminação global e relevante impacto na saúde pública (German Advisory Committee on Blood Safety, 2016).

A chuva e a temperatura são fatores climáticos determinantes na transmissão do vírus Zika, pois influenciam diretamente o ciclo de vida do mosquito vetor *Aedes aegypti*. As chuvas fornecem os acúmulos de água parada necessários para criadouros e o desenvolvimento das fases larvais do mosquito, enquanto temperaturas entre aproximadamente 23 °C e 29 °C favorecem a taxa de picada e reduzem o período de incubação extrínseca, aumentando a taxa metabólica do vírus e do mosquito, acelerando a replicação viral no epitélio intestinal e a disseminação pela hemolinfa até as glândulas salivares, diminuindo para até 5 dias a 30°C, o que mostra uma velocidade quase cinco vezes maior quando comparado ao tempo de incubação extrínseca a 21°C, que é de 24 dias (Murrieta *et al.*, 2021; Tesla *et al.*, 2018; Winokur *et al.*, 2020).

Além da transmissão vetorial, fortemente influenciada por fatores climáticos, o ZIKV também pode ser disseminado por vias não vetoriais, o que amplia os desafios ao controle epidemiológico (Musso; Ko; Baud, 2019). Destacam-se a transmissão

transplacentária, possível em todos os trimestres gestacionais e associada a riscos ao desenvolvimento fetal (Gerdtts *et al.*, 2016; Besnard *et al.*, 2014); a transmissão por transfusão sanguínea, relevante devido à alta proporção de infecções assintomáticas e à persistência prolongada do RNA viral (Musso *et al.*, 2014; Saá *et al.*, 2018; Stone *et al.*, 2020); e a transmissão sexual, principalmente na forma homem-para-mulher, com detecção prolongada do RNA viral no sêmen (Foy *et al.*, 2011; Paz-Bailey *et al.*, 2018).

Em relação a chegada do ZIKV nas Américas, o primeiro caso autóctone foi reportado em 2015, no Nordeste do Brasil, embora evidências indiquem introdução do vírus entre 2013 e 2014 (Faria *et al.*, 2016; Faria *et al.*, 2017; Oliveira *et al.*, 2017; Lowe *et al.*, 2018). Posteriormente, houve rápida disseminação para outras regiões, com pico epidêmico no Sudeste em 2016. Na Região Sul, a transmissão foi confirmada em 2016 no Rio Grande do Sul, com indícios prévios de casos importados em 2015 (Gregianini *et al.*, 2017; Soek *et al.*, 2023).

O fenômeno El Niño 2015-2016 criou condições climáticas excepcionalmente favoráveis à transmissão de ZIKV na América do Sul, fazendo com que tivesse as melhores condições para proliferação do ZIKV desde 1950 (Caminade *et al.*, 2016). O vetor do ZIKV tem demonstrado elevada capacidade de adaptação a regiões anteriormente menos afetadas, ampliando sua distribuição espacial. Tais mudanças ambientais favorecem a criação de condições mais propícias à transmissão dessas arboviroses, resultando no aumento do número de casos e na ampliação do período de circulação dos agentes infecciosos (Blank; Blank, 2015).

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar a relação entre variáveis climáticas e a incidência de infecção pelo vírus Zika na Região Sul do Brasil, contribuindo para o aprimoramento das estratégias de vigilância epidemiológica e controle vetorial.

METODOLOGIA

Trata-se de um estudo epidemiológico ecológico, conduzido com base na análise de dados secundários de domínio público. Os dados epidemiológicos referentes aos casos notificados de Zika vírus foram obtidos por meio do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN) no site <https://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sinannet/cnv/zikabr.def>, disponibilizado

pelo Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS). As informações climáticas foram extraídas da base NASA POWER (*Prediction of Worldwide Energy Resources*) no seguinte site <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.

A seleção dos municípios foi realizada com base na incidência proporcional de casos de Zika vírus por 100 mil habitantes nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Inicialmente, foram considerados os dez municípios com maior incidência em cada estado. Após refinamento amostral e verificação da consistência dos dados, a amostra final foi composta por 29 municípios, sendo 10 localizados no Paraná, 10 no Rio Grande do Sul e 9 em Santa Catarina.

Foram adotados como critérios de exclusão municípios com população inferior a 5 mil habitantes, devido à maior instabilidade estatística das taxas de incidência; municípios com menos de 20 casos notificados no período estudado, a fim de garantir volume mínimo de observações para análise; e municípios geograficamente contíguos com características climáticas semelhantes, visando reduzir redundância espacial. Nos casos de proximidade territorial, foi selecionado o município com maior incidência proporcional de casos, buscando maior representatividade epidemiológica.

Além da análise global do período de 2016 a 2024, foram definidos dois recortes para análise: o recorte temporal com análise específica do ano de 2016, com o objetivo de caracterizar o comportamento epidemiológico inicial da introdução autóctone do vírus na Região Sul com 32 municípios; e o recorte baseado em persistência epidemiológica com análise dos municípios com registro de pelo menos um caso notificado em todos os anos do período estudado, totalizando nove municípios, para avaliação de tendência temporal contínua.

As variáveis climáticas analisadas incluíram temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica acumulada (mm). Os dados foram agrupados por estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) com o objetivo de reduzir as limitações relacionadas ao registro temporal dos casos no DATASUS, uma vez que pode haver um intervalo considerável entre a ocorrência do caso e sua inserção no sistema. Além disso, os efeitos das variáveis climáticas sobre a incidência das arboviroses não ocorrem de forma imediata, pois alterações na temperatura e na precipitação influenciam inicialmente a dinâmica populacional do vetor, refletindo-se no número de casos apenas após um determinado período de atraso, cuja duração pode variar conforme as condições ambientais. Dessa forma, a utilização de “blocos” temporais

sazonais permitiram minimizar essas incertezas temporais e possibilitou uma avaliação mais consistente da associação entre as condições climáticas e a incidência da doença dentro de um mesmo período de análise. Os dados foram inicialmente tabulados no software LibreOffice Calc, versão 25.2.4, e posteriormente submetidos à análise estatística no ambiente de programação R versão 4.6.0.

A modelagem estatística adotada neste estudo baseou-se na utilização de Modelos Lineares Generalizados (GLM) para dados longitudinais, com especificação da distribuição binomial negativa do tipo 2. Tal escolha metodológica se justifica pela natureza dos dados epidemiológicos analisados, uma vez que estes consistem em contagens de casos de Zika, frequentemente caracterizadas por sobredispersão. A análise foi feita utilizando quatro modelos, com combinações diferentes de preditores: um modelo com temperatura e precipitação, um com temperatura e precipitação com sazonalidade, um com Índice De Martonne (uma variável que combina temperatura e precipitação, como explicado adiante), e outro com Índice de Martonne com sazonalidade. Os modelos incluíram todos os preditores como efeitos fixos, com offset populacional para modelar taxas de incidência. Inicialmente, adotou-se um modelo com essas variáveis climáticas como efeitos aleatórios, o que permitiria que suas associações com a incidência variassem entre os municípios. Porém, essa especificação resultou em problemas de convergência do modelo, possivelmente em razão do número insuficiente de unidades de agrupamento. Diante disso, optou-se por uma abordagem mais simples, considerando essas variáveis como efeitos fixos. Os municípios foram tratados como variável de agrupamento para um efeito aleatório com estrutura de correlação autorregressiva de primeira ordem (AR1), a fim de levar em conta a dependência temporal nos dados de incidência dentro de cada município.

As variáveis climáticas foram mantidas em suas escalas originais, com precipitação em milímetros e temperatura em graus Celsius. A variável Índice de Martonne foi padronizada em Z-score (média = 0, desvio padrão = 1), a decisão de padronizar foi tomada para facilitar a convergência do modelo que o utilizará. O Índice de Martonne é um indicador de aridez calculado a partir da relação entre precipitação e temperatura, permitindo capturar a interação entre essas duas variáveis em uma métrica sintética de disponibilidade hídrica — fator relevante para a ecologia do vetor *Aedes aegypti*. Valores altos do índice indicam clima mais úmido e valores mais baixos clima mais árido. É calculado pela equação abaixo, onde I representa o índice de

Martonne, o P a precipitação, o T a temperatura e o $+10$ é uma constante usada para evitar divisão por zero e estabilizar o índice em regiões frias: $I=P/(T+10)$.

A população foi transformada em escala logarítmica ($\log(\text{pop})$) para ser utilizada como *offset* no modelo, isso permite que a estimativa do número de casos precipitação e temperatura seja ajustado pelo tamanho populacional. A variável estação do ano foi convertida em fator categórico, com o inverno definido como nível de referência, por ser a estação com menor incidência histórica de Zika. Dessa forma, os coeficientes das demais estações (primavera, verão e outono) são interpretados como a diferença na taxa de incidência em relação ao inverno. Foram desenvolvidos 4 modelos para análise dessas variáveis, com o objetivo de avaliar a robustez dos efeitos climáticos sobre a ocorrência de casos.

O modelo 1 inclui as variáveis precipitação e temperatura, tem como objetivo analisar a influência direta dessas variáveis sobre o aumento no número dos casos de Zika vírus. O modelo é representado pela seguinte equação: $\log(\mu)=\beta_0+\beta_1(\text{temperatura})+\beta_2(\text{precipitação})+\log(\text{população})+\varepsilon_{it}$, onde, $\log(\mu)$ representa o número de casos, β_0 representa coeficiente do intercepto, o β_1 e β_2 são coeficientes da temperatura e pluviometria, $\log(\text{pop})$ representa população e ε_{it} representa o erro de primeira ordem com distribuição auto regressiva (AR1).

O modelo 2 inclui as variáveis precipitação, temperatura e estação, tem como objetivo de avaliar o efeito da temperatura e da precipitação sobre a incidência de casos, independentemente das variações sazonais observadas ao longo do período analisado. O modelo é representado pela seguinte equação: $\log(\mu)=\beta_0+\beta_1(\text{temperatura})+\beta_2(\text{precipitação})+\beta_3(\text{estação})+\log(\text{população})+\varepsilon_{it}$, onde β_3 representa coeficiente das estações, que é uma variável categórica como já citado.

Modelo 3 busca analisar a relação entre o Índice De Martonne padronizado (Martonne_z) e o aumento no número de casos, sendo representado pela seguinte equação: $\log(\mu)=\beta_0+\beta_4(\text{Martonne_z})+\log(\text{população})+\varepsilon_{it}$, onde β_4 representa o coeficiente do Índice De Martonne.

Modelo 4 analisou como o Índice De Martonne influência no número de aumento de casos de Zika vírus quando a variável estação está presente. O modelo é representado pela seguinte equação: $\log(\mu)=\beta_0+\beta_3(\text{estação})+\beta_4(\text{Martonne_z})+\log(\text{população})+\varepsilon_{it}$.

Adotou-se nível de significância estatística de 5% ($p < 0,05$) e intervalo de confiança de 95% (IC95%). Por se tratar de estudo baseado exclusivamente em dados

secundários, públicos e anonimizados, não houve necessidade de submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa, conforme disposto na Resolução nº 510, de 7 de abril de 2016, do Conselho Nacional de Saúde. A construção, o processamento e o ajuste dos modelos estatísticos foram realizados no ambiente computacional R, versão 4.6.0. O modelo de linguagem Gemini 3.0 Pro (Google) foi usado na elaboração dos scripts empregados nas análises.

RESULTADOS

A amostra total do estudo foi composta por 3.317 casos e 29 municípios no recorte temporal de 2016 a 2024. Para o ano de 2016, considerando os municípios com registro no período específico, foram contabilizados 2.109 casos distribuídos entre 32 municípios. Já no recorte temporal de 2016 a 2024, ao considerar os municípios que apresentaram pelo menos um caso anual ao longo de todo o período, a amostra foi composta por 2.679 casos e 9 municípios. Esses dados estão resumidos na Tabela 1; ressalta-se que os recortes temporais analisados contemplam diferentes conjuntos de municípios, não sendo, portanto, diretamente comparáveis entre si.

Tabela 1: Dados de incidência, pluviometria e temperatura em cada estação dos recortes.

Recorte temporal principal de 2016 a 2024					
Estação	n° de casos	Temperatura Média (°C)	Temperatura (mín-máx)(°C)	Pluviometria Média (mm)	Pluviometria (mín-máx)(mm)
Verão	1.514	25,1	21,6-31,1	493	170-771
Outono	1.285	17,6	12,7-25,3	381	78,5-1.088
Inverno	245	16,3	11,9-23,9	307	58,4-771
Primavera	273	22,3	18,9-29,6	405	151-1.152
n Total	3.317				

Recorte temporal de 2016.					
Estação	n° de casos	Temperatura Média (°C)	Temperatura (mín-máx)(°C)	Pluviometria Média (mm)	Pluviometria (mín-máx)(mm)
Verão	1.385	24,1	20,4-26,4	591	398-734
Outono	504	17,2	13,8-21,1	339	211-430
Inverno	94	16,1	13,3-19,0	258	163-384
Primavera	126	21,4	16,5-25,4	463	333-645
n Total	2.109				

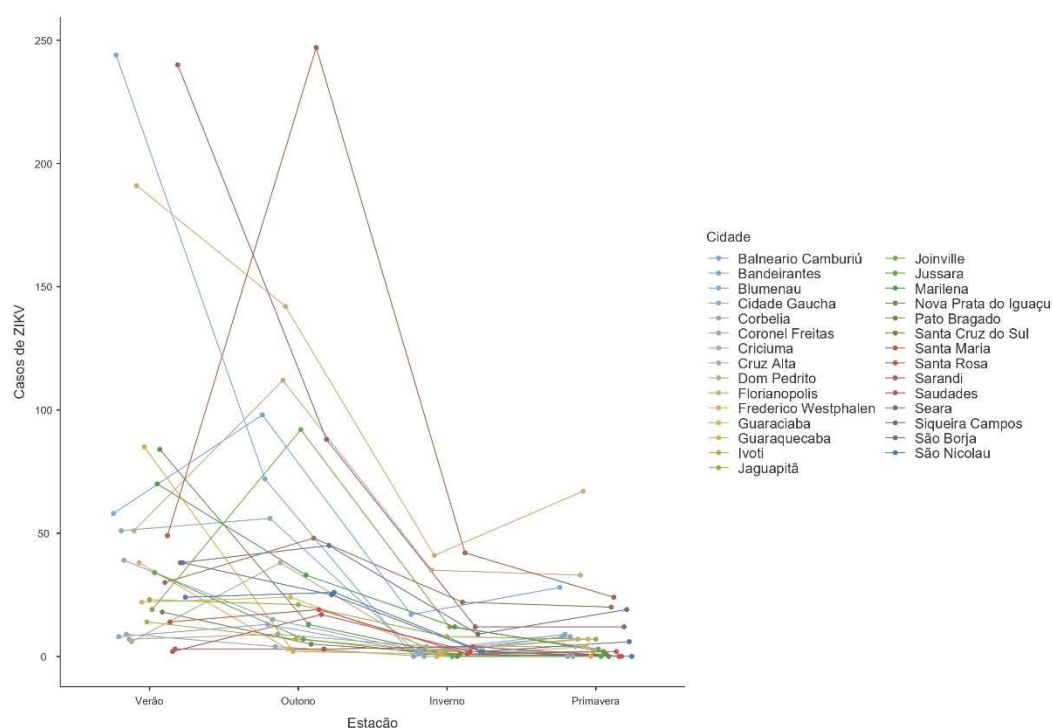
Recorte baseado em persistência epidemiológica em municípios de 2016 a 2024.					
Estação	n° de casos	Temperatura Média (°C)	Temperatura (mín-máx)(°C)	Pluviometria Média (mm)	Pluviometria (mín-máx)(mm)
Verão	1.115	24,6	21,2-28,2	501	200-749

Outono	873	17,8	14,0-22,7	361	97,6-932
Inverno	317	17,5	13,2-22,7	240	73,3-654
Primavera	374	23,1	19,1-27,5	487	157-948
n Total	2.679				

Fonte: Própria, 2026.

A Figura 1 demonstra a distribuição sazonal dos casos de ZIKV nos 29 municípios analisados no período de 2016 a 2024, evidenciando maior concentração de casos durante o verão e o outono. Observa-se redução acentuada das notificações no inverno, com manutenção de baixos números na primavera na maioria das cidades. Alguns municípios apresentaram picos expressivos de casos, especialmente no verão e outono, indicando heterogeneidade na intensidade da transmissão entre as localidades estudadas.

Figura 1: Perfil sazonal dos casos de ZIKV entre os 29 municípios analisados 2016 a 2024.

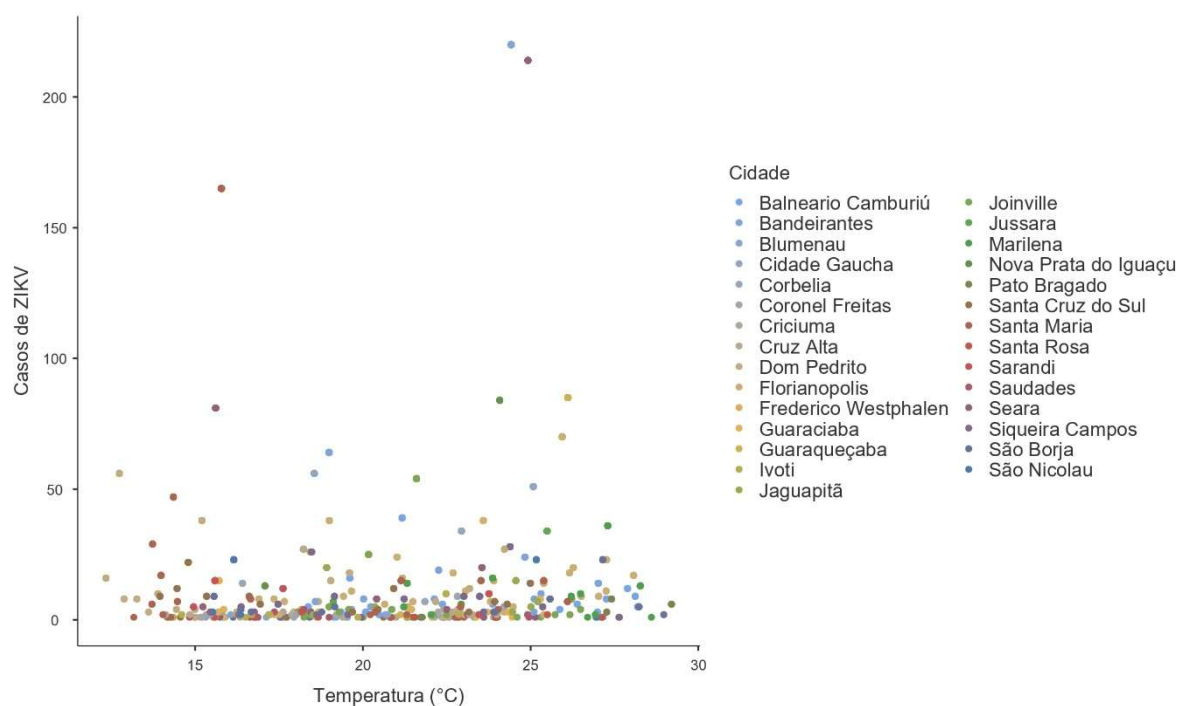


Fonte: Própria, 2026.

A Figura 2 demonstra a distribuição dos casos de ZIKV em função da temperatura média nos 29 municípios analisados entre 2016 e 2024, evidenciando maior concentração de notificações em faixas térmicas específicas. Observa-se a manutenção de baixos números de casos na maioria das cidades ao longo de quase toda a amplitude térmica, indicando um padrão endêmico de baixa intensidade.

Entretanto, o gráfico revela forte heterogeneidade na transmissão entre os municípios, com picos expressivos e abruptos de casos: um primeiro aumento na faixa próxima a 15,5°C e o maior pico de incidência entre 24°C e 25°C, quando duas cidades ultrapassam 200 casos.

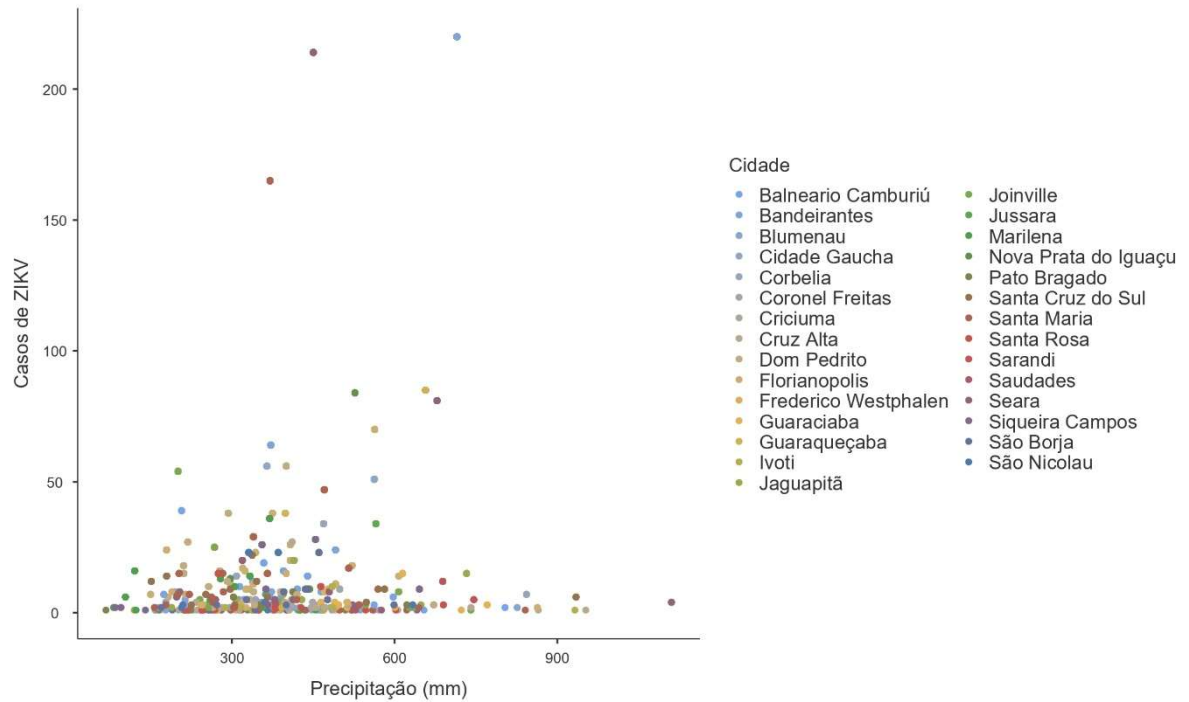
Figura 2: Casos de ZIKV por temperatura média nos municípios analisados (2016–2024).



Fonte: Própria, 2026.

A Figura 3 mostra a influência do volume de chuva na ocorrência de ZIKV nas 29 localidades estudadas entre 2016 e 2024, evidenciando maior concentração de notificações em intervalos pluviométricos específicos. Na maior parte do gráfico, observa-se estabilidade epidemiológica e baixos índices de transmissão, independentemente do volume acumulado de chuva. Contudo, a dinâmica de transmissão apresenta forte heterogeneidade, com surtos isolados em municípios específicos. Esse padrão é evidenciado por picos abruptos de incidência entre 300 mm e 450 mm de precipitação, além de um surto tardio e atípico na faixa entre 650 mm e 680 mm, quando um município isolado registra o maior pico do período, superando 200 casos.

Figura 3: Casos de ZIKV por precipitação acumulada nos municípios analisados (2016–2024).



Fonte: Própria, 2026.

No recorte temporal das 29 cidades de 2016 a 2024 os dados obtidos sobre o modelo (AR1, AIC, BIC e R^2) e sobre as variáveis (Valor-p, Razão de Taxas de Incidência (IRR), coeficiente beta, erro padrão e IC95%) se encontram na Tabela 2.

Tabela 2: Análise dos dados das 29 cidades de 2016 a 2024.

Modelo 1 – Variáveis precipitação e temperatura.				
Variável	Coeficiente (β)	Erro padrão	Valor-p	IRR(IC95%)
Intercepto	-13,25	$8,63 \times 10^{-7}$	0,001	$1,75 \times 10^{-6} (6,7 \times 10^{-7} - 4,6 \times 10^{-6})$
Precipitação (mm)	0,001	$4,06 \times 10^{-4}$	0,010	1,001(1,0002-1,002)
Temperatura (°C)	0,026	0,0181	0,132	1,026(0,990 – 1,06)
AIC = 2870,2				
BIC = 2899,9				
R^2 = 0,006				
AR1 = 0,85				
Modelo 2 – Variáveis com sazonalidade.				
Variável	Coeficiente (β)	Erro padrão	Valor-p	IRR(IC95%)
Intercepto	-11,46	$1,03 \times 10^{-5}$	0,001	$1,05 \times 10^{-5} (1,52 \times 10^{-6} - 7,21 \times 10^{-5})$
Precipitação (mm)	$6,8 \times 10^{-4}$	$3,97 \times 10^{-4}$	0,126	1,0006(0,99 – 1,001)
Temperatura (°C)	-0,0995	0,0474	0,058	0,900(0,816 – 1,003)
Verão	2,23	4,39	0,001	9,27(3,66 – 23)
Outono	1,62	8,49	0,001	5,06 (3,6 – 7,03)
Primavera	0,69	7,29	0,059	1,99 (0,973 – 4,08)
AIC = 2736,8				
BIC = 2781,3				
R^2 = 0,04				
AR1 = 0,89				

Modelo 3 – Variável incidência e Índice de Martonne.				
Variável	Coeficiente (β)	Erro padrão	Valor-p	IRR(IC95%)
Intercepto	-12,29	1.4×10^{-6}	0,001	$4,6 \times 10^{-6} (2,5 \times 10^{-6} - 8,4 \times 10^{-6})$
Índice de Martonne	0,182	0,081	0,007	1,20 (1,05 – 1,37)
AIC = 2873,8				
BIC = 2903,5				
$R^2 = 9,2 \cdot 10^{-5}$				
AR1 = 0,85				

Modelo 4 – Variáveis Índice de Martonne e sazonalidade.				
Variável	Coeficiente (β)	Erro padrão	Valor-p	IRR(IC95%)
Intercepto	-12,94	$8,32 \times 10^{-7}$	0,001	$2,41 \cdot 10^{-6} (1,22 \times 10^{-6} - 4,74 \times 10^{-6})$
Índice de Martonne	0,146	0,071	0,018	1,16 (1,025 – 1,304)
Verão	1,47	0,703	0,001	4,35 (3,16 – 5,97)
Outono	1,48	0,655	0,001	4,40 (3,2 – 5,89)
Primavera	0,14	0,190	0,394	1,15 (0,833 – 1,59)
AIC = 2737,4				
BIC = 2777,0				
$R^2 = 0,038$				
AR1 = 0,89				

Fonte: Própria, 2026.

O Modelo 2 da Tabela 2, que incluiu precipitação, temperatura e sazonalidade, demonstrou o melhor desempenho geral no AIC, BIC e R^2 . As estações verão e outono apresentaram forte associação com aumento da incidência em relação ao inverno. O verão apresentou IRR de 9,27 (IC95%: 3,66–23; $p < 0,001$), indicando aumento de 827% na taxa de incidência, enquanto o outono apresentou IRR de 5,06 (IC95%: 3,6–7,03; $p < 0,001$), correspondendo a aumento de 406%. A primavera apresentou tendência positiva, porém sem significância estatística.

O Modelo 4 da Tabela 2, apresentou desempenho comparável ao Modelo 2. O Índice de Martonne padronizado manteve associação significativa (IRR = 1,16; IC95%: 1,025–1,304; $p = 0,018$) mesmo com a sazonalidade, com aumento de 16% na taxa de incidência por desvio padrão. As estações verão (IRR = 4,35; IC95%: 3,16–5,97; $p < 0,001$) e outono (IRR = 4,40; IC95%: 3,2–5,89; $p < 0,001$) permaneceram significativamente associadas à maior incidência, com aumentos de 335% e 340%, respectivamente. A primavera novamente não atingiu significância estatística.

Nos modelos sem sazonalidade da Tabela 2, tanto a precipitação (Modelo 1: IRR = 1,001; IC95%: 1,0002–1,002; $p = 0,010$) quanto o Índice de Martonne (Modelo 3: IRR = 1,20; IC95%: 1,05–1,37; $p = 0,007$) demonstraram associação significativa com a incidência de ZIKV. Contudo, ambos os modelos apresentaram menor poder

explicativo (R^2) e pior ajuste global comparado aos modelos com sazonalidade. A temperatura média não foi estatisticamente significativa em nenhum modelo.

No recorte temporal do ano de 2016 os dados obtidos sobre os modelos (AR1, AIC, BIC e R^2) e sobre as variáveis (Valor-p, IRR, coeficiente beta, erro padrão e IC95%) se encontram na Tabela 3.

Tabela 3: Efeito da temperatura e pluviometria no início da epidemia de Zika vírus de 2016.

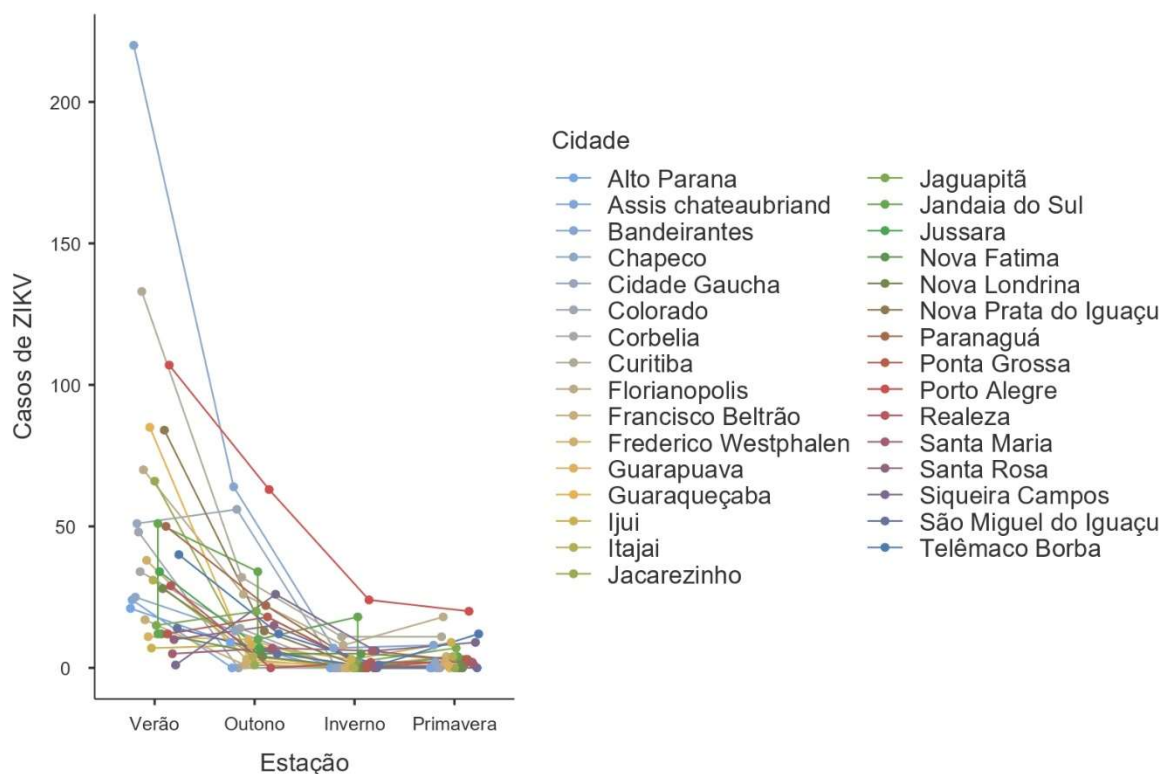
Modelo 1 – Variáveis climáticas brutas.				
Variável	Coeficiente (β)	Erro padrão	Valor-p	IRR(IC95%)
Intercepto	-13,29	$1,95 \times 10^{-6}$	0,001	$1,69 \times 10^{-6} (1,77 \times 10^{-7} - 1,6 \times 10^{-5})$
Precipitação (mm)	0,00237	$1,91 \times 10^{-3}$	0,216	1,002(0,998–1,006)
Temperatura (°C)	0,13870	0,0919	0,083	1,15(0,981 – 1,34)
AIC = 914,3				
BIC = 931,4				
R^2 = 0,062				
AR1 = 0,48				
Modelo 2 – Variáveis com sazonalidade.				
Variável	Coeficiente (β)	Erro padrão	Valor-p	IRR(IC95%)
Intercepto	-14,45	$1,06 \times 10^{-6}$	0,001	$5,32 \times 10^{-7} (1,05 \times 10^{-8} - 2,68 \times 10^{-5})$
Precipitação (mm)	0,00057	0,00181	0,751	1,001(0,997 – 1,004)
Temperatura (°C)	0,1891	0,136	0,095	1,21(0,967 – 1,51)
Verão	2,050	8,56	0,063	7,77(0,895 – 67,4)
Outono	2,258	3,47	0,001	9,56(4,69 – 19,4)
Primavera	-0,565	0,45	0,477	0,575(0,119 – 2,69)
AIC = 858,9				
BIC = 884,9				
R^2 = 0,197				
AR1 = 0,60				
Modelo 4 – Variáveis Índice de Martonne e sazonalidade.				
Variável	Coeficiente (β)	Erro padrão	Valor-p	IRR(IC95%)
Intercepto	-11,21	$5,62 \times 10^{-5}$	0,001	$1,35 \times 10^{-5} (5,9 \times 10^{-6} - 3,05 \times 10^{-5})$
Índice de Martonne	-0,045	0,196	0,826	0,955 (0,638– 1,43)
Verão	3,71	2,18	0,001	40,9(14,3 – 116)
Outono	2,46	4,05	0,001	11,7 (5,94 – 23)
Primavera	0,59	0,789	0,180	1,80(0,762 – 4,25)
AIC = 859,4				
BIC = 882,2				
R^2 = 0,191				
AR1 = 0,67				

Fonte: Própria, 2026.

A Figura 4, referente ao recorte temporal do ano de 2016 que analisou 32 cidades, demonstra predominância de casos de ZIKV durante o verão, período em que diversos municípios apresentaram os maiores picos de notificação. Observa-se redução progressiva dos casos no outono e queda acentuada no inverno, mantendo-

se baixos valores na primavera. Apesar da tendência sazonal semelhante entre os municípios, alguns apresentaram magnitude de casos significativamente superior aos demais, evidenciando heterogeneidade espacial na transmissão do vírus durante o período epidêmico inicial.

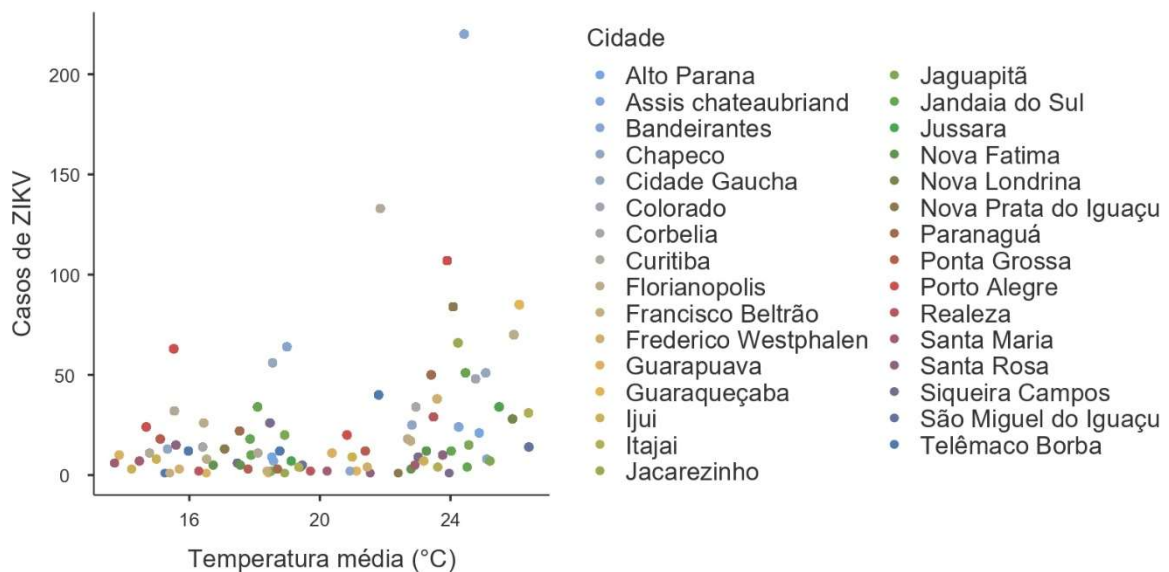
Figura 4: Comportamento sazonal dos casos de ZIKV nos 32 municípios no ano de 2016.



Fonte: Própria, 2026.

A Figura 5 apresenta o impacto da temperatura média sobre a notificação de casos de ZIKV nos municípios estudados em 2016. Observam-se baixos índices de casos ao longo de quase todo o gradiente térmico na maior parte das localidades. Entretanto, destaca-se a assimetria na intensidade da transmissão e o caráter abrupto dos surtos. O primeiro incremento ocorre em torno de 15,5°C, alcançando 60 casos. Com a elevação da temperatura, novos picos surgem próximos de 22°C, culminando no maior registro do período entre 24°C e 24,5°C, quando um único município ultrapassou 200 casos notificados.

Figura 5: Casos de ZIKV por temperatura média nos municípios analisados em 2016.

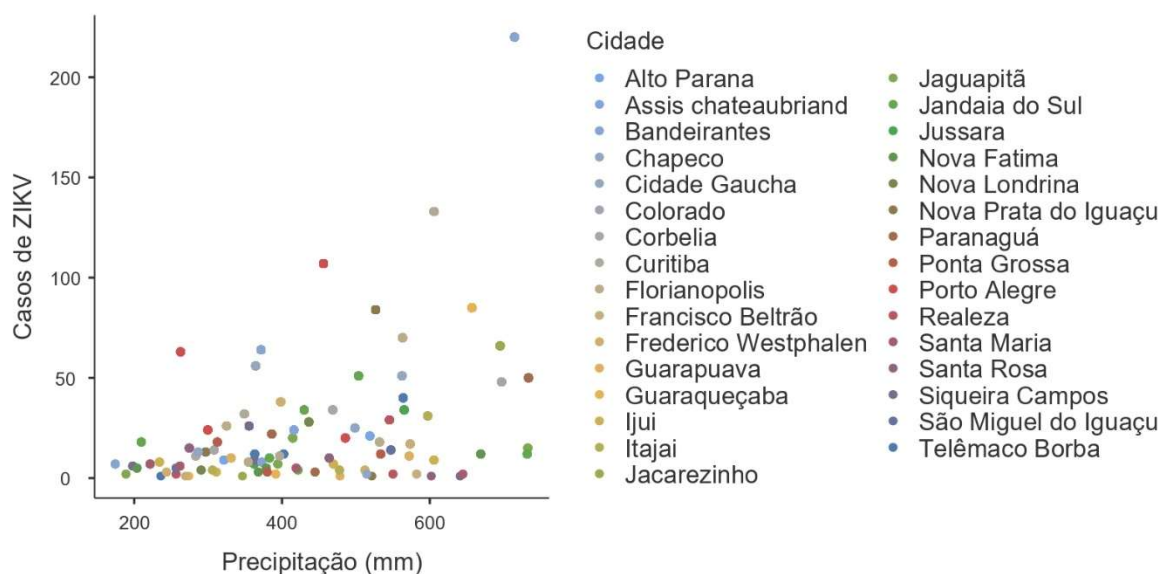


Fonte: Própria, 2026.

Na Figura 6 mostra a relação entre o volume pluviométrico e casos de ZIKV, revelando um padrão predominantemente estável, com a maioria dos municípios mantendo baixos índices endêmicos. No entanto, essa linearidade é quebrada por surtos isolados e agudos. No extremo mais seco do gradiente, perto de 260 mm, surge o primeiro sinal de alerta com cerca de 60 notificações. Na faixa intermediária de chuvas (entre 450 mm e 600 mm), a intensidade da transmissão ganha força, gerando picos expressivos que oscilam de 85 a 130 ocorrências. O ápice do período, contudo, concentra-se sob condições de pluviosidade severa: um único município isola-se no topo do gráfico ao registrar mais de 200 casos em um acumulado que supera os 700 mm.

O Modelo 2 da Tabela 3, que incluiu precipitação, temperatura e sazonalidade, demonstrou o melhor desempenho geral com maior R^2 e melhor ajuste global com menor AIC e BIC. O outono foi a única estação com efeito estatisticamente significativo ($p < 0,001$; IRR = 9,56; IC95%: 4,69–19,4), indicando aumento de 856% na taxa de incidência em relação ao inverno. O verão e a primavera mostraram associação positiva, porém sem significância estatística. A precipitação e temperatura permaneceram sem significância estatística neste modelo

Figura 6: Casos de ZIKV por precipitação acumulada nos municípios analisados em 2016.



Fonte: Própria, 2026.

O Modelo 4 da Tabela 3, apresentou desempenho comparável ao Modelo 2. O Índice de Martonne padronizado não apresentou associação significativa com a incidência de Zika quando analisado com sazonalidade. Em contrapartida, os efeitos sazonais foram consistentes: o verão ($p < 0,001$; IRR = 40,9; IC95%: 14,3–116) e o outono ($p < 0,001$; IRR = 11,7; IC95%: 5,94–23,0) apresentaram aumentos de 3990% no verão e 1070% no outono, respectivamente, quando comparados ao inverno. A primavera não atingiu significância estatística.

O Modelo 3, que avaliou a relação entre o Índice de Martonne padronizado e a incidência de Zika, não convergiu, impossibilitando a obtenção de estimativas válidas. A não convergência pode estar relacionada à estrutura limitada dos dados no recorte temporal de 2016 ou à insuficiente variabilidade do índice para sustentar a estimação dos parâmetros do modelo com a estrutura AR1.

O Modelo 1 da Tabela 3, que incluiu apenas precipitação e temperatura, apresentou menor R^2 e pior ajuste global com maior AIC e BIC. As variáveis climáticas não alcançaram significância estatística. O Modelo 3 da tabela 3, que avaliou o Índice de Martonne padronizado isoladamente, não convergiu, impossibilitando a obtenção de estimativas válidas. A não convergência pode estar relacionada à estrutura limitada dos dados no recorte temporal de 2016 ou à insuficiente variabilidade do índice para sustentar a estimação dos parâmetros do modelo com a estrutura AR1.

No recorte de persistência epidemiológica do ZIKV os dados obtidos sobre os modelos e sobre as variáveis (Valor-p, IRR, coeficiente beta, erro padrão e IC95%) se encontram na Tabela 4.

Tabela 4: Efeito da temperatura e pluviometria na persistência da epidemia de Zika vírus de 2016 a 2024.

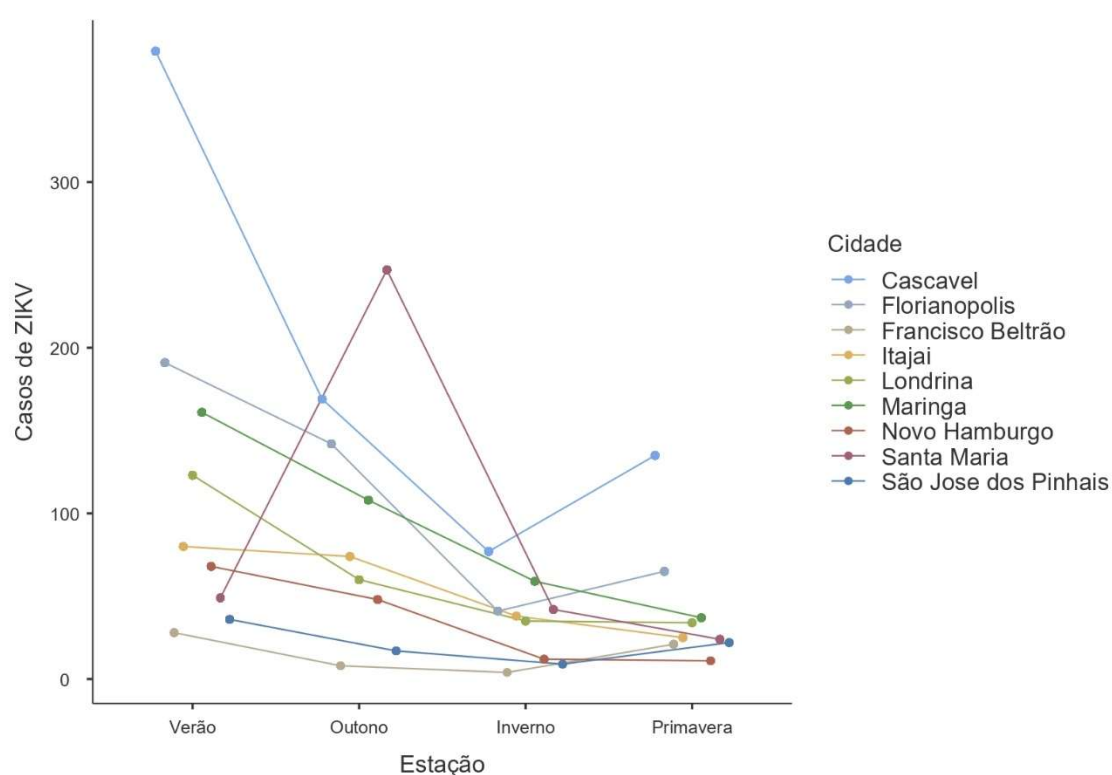
Modelo 1 – Variáveis climáticas brutas.				
Variável	Coeficiente (β)	Erro padrão	Valor-p	IRR
Intercepto	-12,82	$1,09 \times 10^{-6}$	0,001	$2,69 \times 10^{-6}(1,21 \times 10^{-6} - 5,95 \times 10^{-6})$
Precipitação (mm)	0,000187	$3,79 \times 10^{-4}$	0,623	1,0001(0,999 – 1,0009)
Temperatura (°C)	0,0595	0,0181	0,001	1,06(1,026 – 1,097)
AIC = 1709,2				
BIC = 1731,9				
R^2 = 0,0045				
AR1 = 0,79				
Modelo 2 – Variáveis com sazonalidade.				
Variável	Coeficiente (β)	Erro padrão	Valor-p	IRR
Intercepto	-12,50	$3,37 \times 10^{-6}$	0,001	$3,74 \times 10^{-6}(6,36 \times 10^{-7} - 2,19 \times 10^{-5})$
Precipitação (mm)	0,0003	$4,20 \times 10^{-4}$	0,618	1,0002(0,999 – 1,001)
Temperatura (°C)	0,029	0,0494	0,543	1,03(0,937 – 1,131)
Verão	0,704	0,837	0,089	2,02(0,898 – 4,55)
Outono	0,651	0,278	0,001	1,92(1,44 – 2,54)
Primavera	0,04	0,357	0,908	1,04(0,530 – 2,04)
AIC = 1676,4				
BIC = 1710,5				
R^2 = NA				
AR1 = 0,84				
Modelo 3 – Variável incidência e Índice de Martonne.				
Variável	Coeficiente (β)	Erro padrão	Valor-p	IRR
Intercepto	-11,50	$2,30 \times 10^{-6}$	0,001	$1,02 \times 10^{-5}(6,5 \times 10^{-6} - 1,6 \times 10^{-5})$
Índice de Martonne	0,0701	0,0647	0,246	1,07(0,952 – 1,21)
AIC = 1724,1				
BIC = 1746,8				
R^2 = 0,00043				
AR1 = 0,78				
Modelo 4 – Variáveis Índice de Martonne e sazonalidade.				
Variável	Coeficiente (β)	Erro padrão	Valor-p	IRR
Intercepto	-11,93	$1,68 \times 10^{-5}$	0,001	$6,58 \times 10^{-6}(3,98 \times 10^{-6} - 1,08 \times 10^{-5})$
Índice de Martonne	-0,0171	0,0608	0,775	1,02(0,904 – 1,144)
Verão	0,95	0,364	0,001	2,59(1,96 – 3,40)
Outono	0,70	0,559	0,001	1,99(1,54 – 2,57)
Primavera	0,235	0,185	0,108	1,26(0,949 – 1,685)
AIC = 1674,8				
BIC = 1705,1				
R^2 = NA				
AR1 = 0,84				

Fonte: Própria, 2026.

A Figura 7 evidencia a variação sazonal dos casos de ZIKV nos municípios com transmissão persistente ao longo do período analisado (2016-2024). Observa-se

maior número de casos durante o verão e o outono, seguido de redução expressiva no inverno e manutenção de menores valores na primavera. Alguns municípios apresentaram picos epidêmicos mais elevados em determinadas estações, especialmente Cascavel no verão e Santa Maria no outono, demonstrando heterogeneidade na intensidade da transmissão entre as localidades. Apesar dessa variabilidade, o padrão geral sugere influência sazonal na ocorrência dos casos de ZIKV.

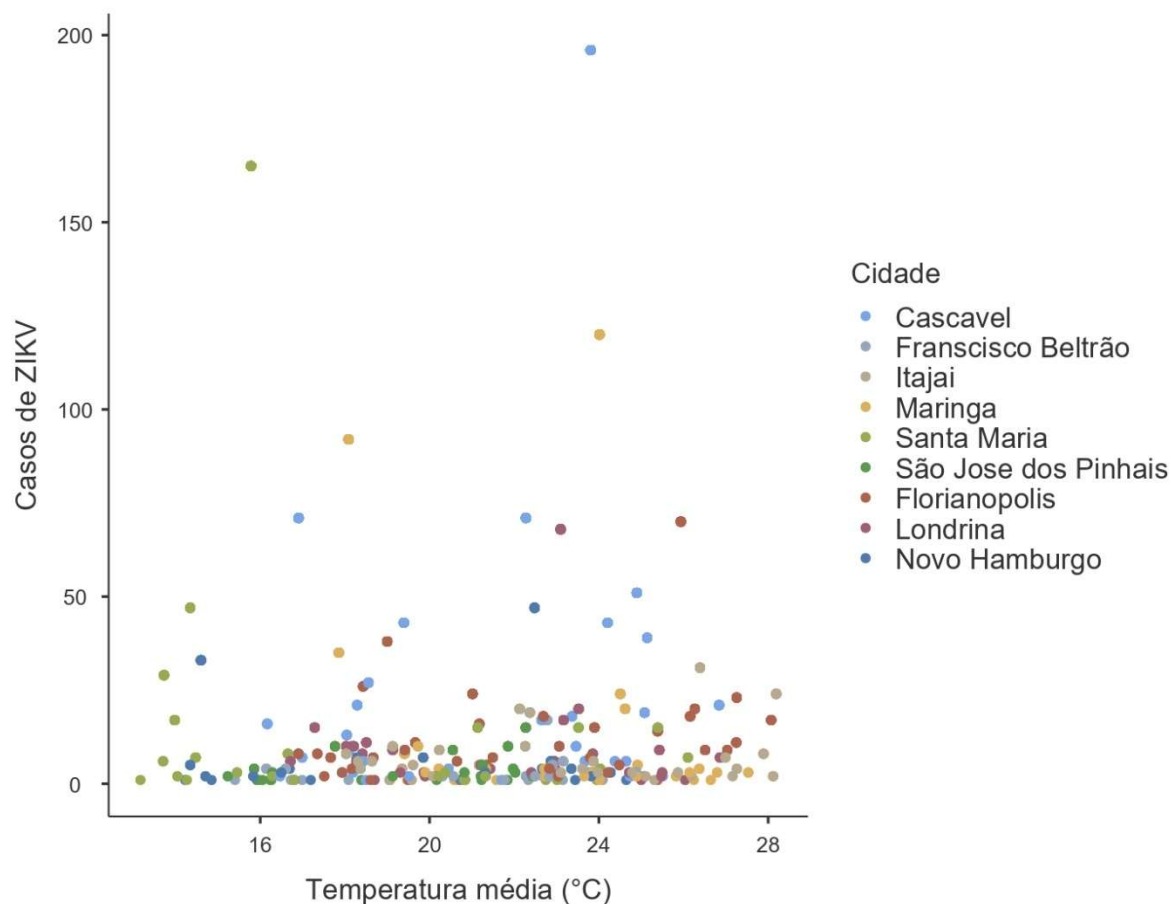
Figura 7: Comportamento sazonal dos casos de ZIKV nos 9 municípios de transmissão persistente.



Fonte: Própria, 2026.

Como observado na Figura 8, a distribuição dos casos de ZIKV em relação a temperatura média do recorte da persistência epidemiológica do ano de 2016 a 2024. A figura revela baixa transmissão na maior parte do gradiente térmico, quebrada por surtos isolados e abruptos. Destacam-se o pico precoce sob temperatura amena (>150 casos a 15,5 °C em Santa Maria) e o teto absoluto da série na faixa de 24 °C a 24,5 °C, intervalo em que Cascavel atinge quase 200 notificações, evidenciando o caráter assimétrico das explosões epidêmica.

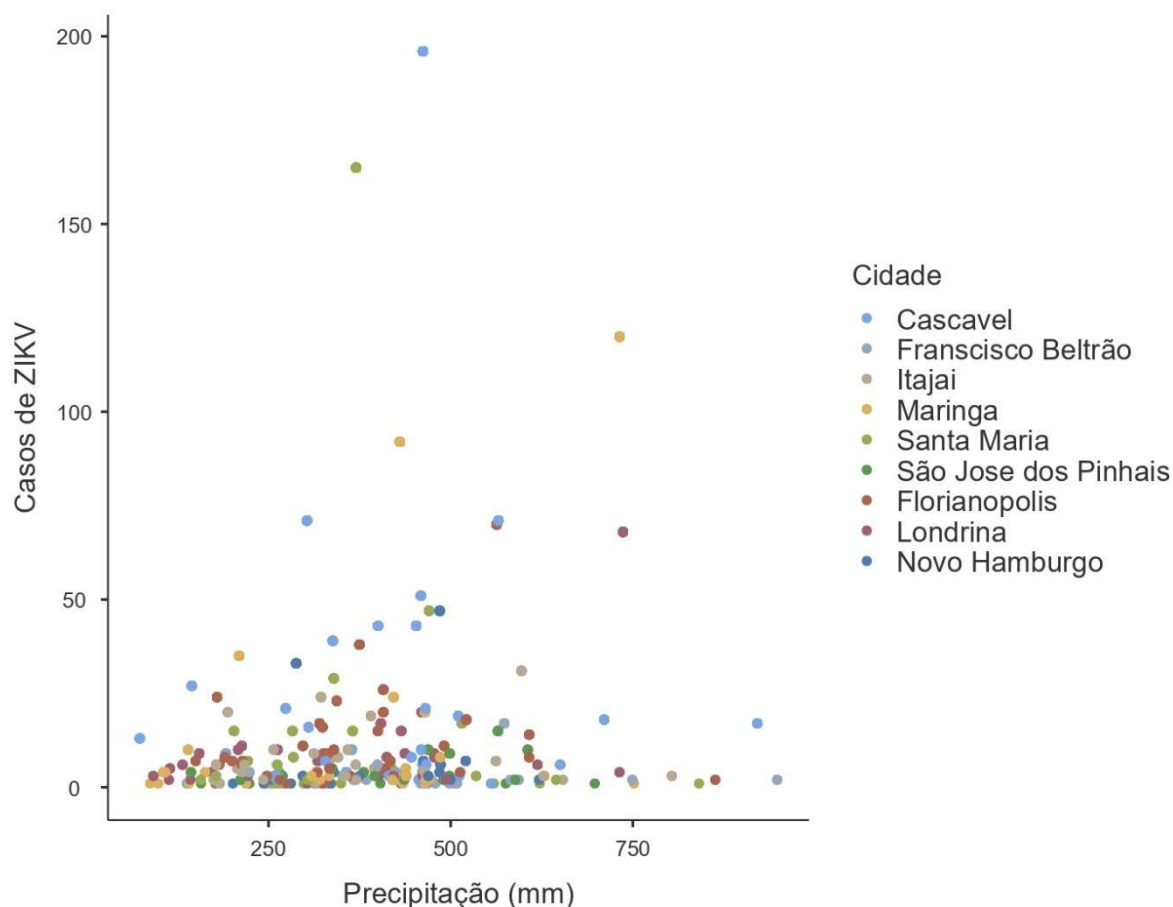
Figura 8: Persistência de ZIKV por temperatura média nos municípios analisados em 2016 a 2024.



Fonte: Própria, 2026.

Como observado na Figura 9, a distribuição dos casos de ZIKV em relação a precipitação do recorte da persistência epidemiológica do ano de 2016 a 2024. A figura revela baixa transmissão generalizada, interrompida por explosões epidêmicas localizadas em faixas específicas de precipitação. Destacam-se dois cenários críticos: o surto expressivo em Santa Maria sob precipitação moderada (~370 mm, com >150 casos) e o teto absoluto registrado em Cascavel (~450 mm), cujas notificações chegaram perto de 200 ocorrências, evidenciando o caráter abrupto e assimétrico dos surtos na região analisada.

Figura 9: Persistência de ZIKV por precipitação acumulada nos municípios analisados em 2016 a 2024.



Fonte: Própria, 2026.

O Modelo 2 da Tabela 4, que incluiu temperatura, precipitação e sazonalidade, também demonstrou melhor ajuste global com menor AIC e BIC, porém não foi possível obter o resultado do R^2 . O outono apresentou significância estatística ($p < 0,001$; IRR = 1,92; IC95%: 1,44–2,54), representando aumento de 92% nos casos de Zika quando comparado ao inverno. O verão e a primavera apresentaram associação positiva, porém sem significância estatística.

O Modelo 4 da Tabela 4, apresentou ajuste global semelhante, porém como no modelo 2 não foi possível obter o resultado do R^2 . O Índice de Martonne padronizado não apresentou significância estatística. Em contrapartida, a sazonalidade demonstrou efeitos significativos: o verão apresentou a maior associação com a incidência ($p < 0,001$; IRR = 2,59; IC95%: 1,96–3,40), com aumento de 159% nos casos de ZIKV. O outono foi a segunda estação com maior efeito ($p < 0,001$; IRR = 1,99; IC95%: 1,54–2,57), representando aumento de 99% nos casos em relação ao inverno. A primavera não atingiu significância estatística.

O Modelo 1 da Tabela 4, que incluiu apenas temperatura e precipitação, apresentou ajuste global inferior, com maior AIC e BIC, porém nesse modelo foi possível a obtenção do R^2 . A temperatura mostrou associação positiva e significância estatística ($p < 0,001$; IRR = 1,06; IC95%: 1,026–1,097), indicando que cada aumento de 1°C na temperatura média esteve associado a um aumento de aproximadamente 6% na taxa de incidência. A precipitação não apresentou significância estatística. O Modelo 3 da tabela 4, que avaliou o Índice de Martonne padronizado, não apresentou significância estatística ($p = 0,246$; IRR = 1,07; IC95%: 0,952–1,21) e demonstrou piores indicadores de ajuste (AIC, BIC e R^2).

DISCUSSÃO

Do ponto de vista clínico, a maioria das infecções por ZIKV é assintomática (50% a 80%) (Brasil *et al.*, 2025). Quando presente, o quadro clínico é geralmente leve e autolimitado, com período de incubação de 3 a 14 dias, sendo caracterizado por exantema, febre baixa, artralgia, conjuntivite e cefaleia. A inespecificidade dos sintomas dificulta o diagnóstico diferencial com outras arboviroses, como dengue e Chikungunya (Musso *et al.*, 2018; Rodriguez-Morales, 2015). Entre as complicações mais graves, destacam-se a síndrome de Guillain-Barré, como principal manifestação neurológica, e alterações congênitas, incluindo microcefalia (Baud *et al.*, 2017; Filgueiras *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2016; Musso; Ko; Baud, 2019).

Os resultados do presente estudo demonstraram que a variável estação é a que tem a maior relação com a incidência de Zika Vírus, sendo as estações de maior incidência o verão e outono quando comparadas a estação de referência (inverno); essas estações tem consistentemente significância estatística nos modelos 2 e 4 de todos os recortes. As variáveis climáticas temperatura (°C), pluviometria (mm) e Índice De Martonne apresentaram significância estatística quando foram analisadas de forma isoladas, porém perderam a significância estatística quando foi incluída a variável estação, sugerindo que o efeito climático sobre a transmissão de ZIKV nessa região é mediado pela variável estação.

Vale ressaltar, que os três recortes temporais analisados nesse estudo são compostos por diferentes municípios e períodos de análise. Dessa forma, os resultados obtidos em cada recorte não são diretamente comparáveis entre si. Cada recorte temporal representa um aspecto da dinâmica epidemiológica do ZIKV na

região sul do Brasil: o comportamento durante a introdução inicial (2016), a persistência temporal em municípios com notificação contínua (2016–2024) e o panorama geral dos municípios mais afetados (29 municípios, 2016–2024).

A superioridade dos modelos com sazonalidade, observada no presente estudo, está biologicamente coerente e alinhada com a literatura científica. Tesla *et al.* (2018) demonstraram que a transmissão do vírus Zika pelo *Aedes aegypti* é otimizada em torno de 29°C, com uma faixa térmica de transmissão confiável entre 22,7°C e 34,7°C. Na região sul do Brasil, as temperaturas médias observadas no presente estudo foram de 24,1-25,1°C no verão e 17,2-17,8°C no outono. Esses valores indicam que as temperaturas médias do verão estão dentro da faixa favorável para transmissão, porém abaixo do ponto térmico ótimo, enquanto as temperaturas médias do outono ficam abaixo do limiar mínimo para transmissão eficiente. Esse achado é consistente com os resultados de Harris *et al.* (2019), que identificaram a maior força de infecção do vírus Zika em locais com temperaturas próximas a 24°C na América Latina. Os autores destacam que a transmissão não está vinculada exclusivamente a altas temperaturas, mas sim à combinação de temperatura adequada, população suscetível e programas de controle vetorial menos intensivos. Outros estudos confirmam que fatores ambientais como precipitação, umidade e densidade populacional, juntamente com a temperatura, influenciam significativamente a dinâmica de transmissão do Zika.

A primavera segue o inverno, período em que as temperaturas médias na Região Sul do Brasil (16,1–17,5°C) ficam muito abaixo do limiar térmico mínimo para transmissão eficiente do Zika vírus (22,7°C) (Huber *et al.*, 2018; Padda *et al.*, 2025). Durante o inverno, ocorre redução drástica da população de *Aedes aegypti* e interrupção da transmissão viral (Gorris *et al.*, 2023). Quando a primavera inicia, mesmo com temperaturas e precipitação adequadas, a população vetorial precisa se reestabelecer a partir de níveis muito baixos, o que retarda o aumento da transmissão. (Altizer *et al.*, 2006). Em contraste, o outono segue o verão, período de intensa atividade vetorial e transmissão viral. A população de mosquitos já está estabelecida em níveis elevados no início do outono, e a estrutura de autocorrelação AR1 elevada demonstrada no estudo indica que a incidência em um período sazonal é fortemente influenciada pelo período imediatamente anterior (Padda *et al.*, 2025) Assim, o outono "herda" uma carga vetorial e viral substancial do verão, resultando em maior incidência mesmo quando as temperaturas começam a declinar.

A temperatura apresentou papel variável conforme o recorte temporal, sendo significativa somente no recorte temporal de persistência do ZIKV, apresentando associação significativa com a incidência no modelo 1 (IRR = 1,06; $p < 0,001$), indicando aumento de 6% na taxa de incidência por grau Celsius adicional. Esse efeito é coerente com resultados no estudo do Winokur *et al*, (2020) onde demonstra que o período de incubação extrínseco varia de 24,2 dias a 21 °C para 5,1 dias a 30 °C, o que deixa evidente que temperaturas mais elevadas aceleram notavelmente a capacidade de transmissão do mosquito. Contudo, ao incluir a variável estação no modelo a temperatura perdeu sua significância estatística, o que sugere que a variável estação captura parte da variação relevante tanto da precipitação quanto em temperatura.

A variável precipitação (mm) teve quase o mesmo desfecho da temperatura, apresentando associação significativa com a incidência de ZIKV apenas no modelo 1 recorte temporal global, aumentando 0,10% para cada milímetro. Embora o efeito por milímetro seja modesto, ele é cumulativo. Por exemplo, se a precipitação subir 100 mm, a taxa de incidência aumentará em de 17,32%. Isso torna biologicamente relevante esse pequeno, porém progressivo, aumento. Chien *et al*, (2019) demonstraram, em seu estudo feito na Colômbia que tanto a temperatura (°C) quanto a precipitação (mm), foram os melhores fatores para determinar áreas de alto risco de transmissão de ZIKV, com aumento significativo no risco relativo associado ao aumento de precipitação. Assim como no caso da temperatura, a perda da significância estatística da precipitação nos modelos que adicionam a sazonalidade, reforça que o seu efeito é absorvido pela variável estação.

A variável Índice De Martonne foi utilizada como uma métrica de disponibilidade hídrica medindo o nível de aridez. Essa variável foi estatisticamente significativa no modelo 3 do recorte global, subindo cerca de 20% para cada medida padronizada do Índice De Martonne, porém quando foi adicionado a estação no modelo 4 o índice perdeu sua significância estatística. Nos demais recortes, o índice não alcançou significância estatística, possivelmente devido à menor variabilidade da amostra.

É importante ressaltar que os valores de R^2 observados em todos os modelos foram baixos (0,004 a 0,197), indicando que as variáveis climáticas explicam apenas uma fração pequena da variabilidade na incidência de ZIKV. Esse achado é consistente com Harris *et al*. (2019), que encontraram que fatores climáticos

explicaram menos de 5% da variação na intensidade de transmissão semanal em modelo espaço-temporal na América Latina. A transmissão do ZIKV é um fenômeno multifatorial, influenciado por determinantes que não foram incluídos neste estudo, como densidade populacional, urbanização, infraestrutura de saneamento, mobilidade humana, imunidade populacional e efetividade das ações de controle vetorial. Picinini Freitas *et al.* (2024) demonstraram que densidade populacional, altitude e cobertura vegetal foram fatores determinantes para a emergência e intensidade de transmissão do ZIKV na Colômbia, reforçando a natureza multifatorial da dinâmica epidemiológica.

É notável a concentração de casos no verão e outono, observada em todos os recortes, refletindo que essas estações ditam a atividade vetorial em regiões subtropicais. Caminade *et al.*, (2016) demonstraram em seu estudo que o risco de transmissão de ZIKV está fortemente associado às estações em regiões temperadas, com altos índices de transmissão restritas aos meses mais quentes. Na Região Sul do Brasil, o clima subtropical impõe limitações à atividade do *Aedes aegypti* durante o inverno, quando se observa as temperaturas médias do presente estudo no inverno (16,1–17,5°C), nota-se que não se aproximam ou ficam muito abaixo do limiar térmico mínimo para transmissão eficiente do ZIKV (22,7°C).

No que diz respeito ao do recorte temporal de 2016, os efeitos sazonais foram muito elevados, com IRR de 40,9 para o verão no modelo 4, indicando um aumento de 3.990% de aumento quando comprado ao inverno. Esse grande aumento deve ser interpretado no sobre dois contextos: a introdução da transmissão autóctone do ZIKV e o fato de que a na população da região sul do Brasil até então se encontrava nunca antes exposta imunologicamente ao vírus, o que amplificou o número de casos na introdução do ZIKV. O fenômeno El Niño de 2015-2016 esteve fortemente associado ao surto inicial de ZIKV na América do Sul, e Anyamba *et al.* (2019) confirmaram que o El Niño 2015–2016 esteve associado a anomalias climáticas que favoreceram surtos de diversas doenças vetoriais, incluindo o ZIKV, em regiões conectadas ao fenômeno. Isso ajudou na estabilização inicial da transmissão autóctone local do ZIKV na região.

Ao analisar os dados do recorte temporal de persistência de ZIKV, nota-se na estação verão um aumento de 159% e no outono 99% em comparação ao inverno. Sem fazer comparações estatísticas, é notável a discrepância de aumento quando comparado ao recorte temporal de 2016, onde o verão tem 3990% e outono 1070%, porém isso se explica pelo acúmulo de imunidade populacional adquirida ao longo do período de 2016 a 2024. Musso *et al.* (2019) descreveram que a imunidade cumulativa

adquirida naturalmente parece ter conduzido o ZIKV à extinção em muitas regiões das Américas após 2016. Porém, embora a pandemia tenha atingido o país como um todo, ela não avançou de forma uniforme. Essa desigualdade geográfica fez com que algumas regiões fossem menos afetadas do que outras, resultando em áreas onde a maior parte da população ainda não teve contato com o ZIKV. Esses locais funcionam como bolsões de vulnerabilidade futura. Roell *et al.* (2024) demonstraram que 58% das localidades analisadas na América Latina ainda estavam em alto risco de ocorrência de novos surtos, até mesmo regiões que estava nas margens de adequação ambiental para transmissão do ZIKV, como a região sul do Brasil.

A persistência de casos nos nove municípios analisados ao longo do período 2016–2024 é um achado epidemiologicamente relevante, pois, sugere que condições locais — possivelmente relacionadas a climas favoráveis, urbanização ou maior conexão com regiões endêmicas — sustentam a circulação viral mesmo em uma região subtropical. Além disso, em algumas regiões do mundo os estudos de Rabe *et al.* (2025) destacaram que a transmissão de ZIKV contínua, com surtos intermitentes, se deve aos grandes números de infecções assintomáticas e a limitação de testes diagnósticos, dificultando a criação de políticas de controle, outro fator que também agrega negativamente é o grande número de subnotificação.

A elevada proporção de infecções assintomáticas (50–80%), de acordo com Lackritz *et al.* (2025) constitui uma limitação importante para estudos baseados em dados de notificação, como o presente. A subnotificação pode distorcer as associações observadas entre variáveis climáticas e incidência, uma vez que a probabilidade de notificação pode variar sazonalmente e entre municípios. Moore *et al.* (2020) destacaram que as taxa de infecção na América Latina não foram uniformes, apresentando variações consideráveis não só entre países, mas também dentro de um mesmo país.

Este estudo apresenta limitações características ao delineamento ecológico. A utilização dos dados secundários do SINAN pode sofrer variações de qualidade entre os municípios e ao longo do tempo, também o sistema não informa se os casos de ZIKV são autóctones ou importados, o que pode distorcer a associação entre clima e o aumento de casos. Além disso, não foram incluídas algumas informações importantes como variáveis socioeconômicas, demográficas e de controle vetorial, o que reduz a capacidade de explicação do modelo. Outra limitação é que o presente estudo utilizou modelos estatísticos de efeitos fixo sem considerar interações diretas

entre precipitação e temperatura, uma vez que modelos mais complexos do que os apresentados aqui tiveram problemas de convergência. Isso impossibilita avaliar diferenças entre cidades na associação entre incidência de Zika e as variáveis climáticas, bem como avaliar em mais detalhes a interação entre precipitação e temperatura.

CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo analisar a influência das variáveis climáticas na incidência de Zika vírus na Região Sul do Brasil, no período de 2016 a 2024, com foco na avaliação do papel da temperatura, da precipitação e das estações na dinâmica de transmissão. Os resultados obtidos contribuem para a compreensão da dinâmica do clima na epidemiologia ZIKV na Região Sul do Brasil, particularmente quanto ao papel da sazonalidade em relação a incidência. Embora as limitações metodológicas inerentes ao delineamento ecológico, a qualidade variável dos dados secundários e a ausência de variáveis sociodemográficas no modelo limitem a capacidade de estabelecer relações causais definitivas.

O estudo demonstrou que a estação demonstrou ser a principal variável climática que influencia a incidência de Zika vírus na Região Sul do Brasil. O verão e outono foram consistentemente associadas à maior incidência em todos os recortes temporais e modelos analisados, com aumentos que variaram de 92% no recorte de transmissão persistente e de 3.990% no recorte de 2016 quando comparadas ao inverno, refletindo a integração de condições térmicas e precipitação favoráveis à atividade do *Aedes aegypti*.

A análise da evolução temporal da persistência entre 2016 e 2024 evidenciou que o ZIKV não se restringiu a um evento de epidemia pontual, demonstrando a persistência de casos em nove municípios ao longo de todo o período, indicando circulação viral contínua em uma região historicamente considerada de menor risco para arboviroses de características tropicais.

Apesar dessas limitações, o estudo contribui para a compreensão da dinâmica climática e epidemiológica do ZIKV em uma região subtropical, historicamente considerada de menor risco para arboviroses tropicais. Os achados reforçam a importância da sazonalidade como preditor da incidência e sugerem que estratégias de vigilância e controle vetorial na Região Sul devem ser intensificadas durante todo o ano, e não somente no verão e no outono, pois o presente estudo mostrou alta

influência da estação anterior na futura, com autocorrelação significativa nas séries temporais. Embora as variáveis climáticas analisadas isoladamente, como temperatura, precipitação e Índice De Martonne, tenham apresentado associações significativas com a incidência de ZIKV, essas associações perderam significância estatística após a inclusão da variável estação nos modelos. Esse resultado sugere que temperatura e precipitação constituem os fatores causais primários da transmissão, enquanto a sazonalidade representa o padrão temporal que sintetiza e reflete essas variações climáticas ao longo do ano. Adicionalmente, os baixos valores de R^2 observados nos modelos confirmam a natureza multifatorial da transmissão do ZIKV, que envolve determinantes socioeconômicos, demográficos, imunológicos e relacionados às ações de controle vetorial não contemplados neste estudo.

No contexto das mudanças climáticas globais, com projeções de expansão da área ambientalmente adequada para mosquitos *Aedes*, a Região Sul pode enfrentar risco crescente de transmissão sustentada do ZIKV e de outras arboviroses nas próximas décadas (Heath; Alves; Bonsall, 2025).

REFERÊNCIAS

ALTIZER, S. et al. Seasonality and the dynamics of infectious diseases. **Ecology Letters**, v. 9, n. 4, p. 467–484, 31 mar. 2006.

ANYAMBBA, Assaf et al. **Global disease outbreaks associated with the 2015–2016 El Niño event**. *Scientific Reports*, [S.l.], v. 9, p. 1930, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38034-z>, 13 fev. 2019.

BAUD, D. et al. An update on Zika virus infection. **The Lancet**, v. 390, n. 10107, p. 2099–2109, nov. 2017.

BESNARD, M.; LASTÈRE, S.; TEISSIER, A.; CAO-LORMEAU, V. M.; MUSSO, D. Evidence of perinatal transmission of Zika virus, French Polynesia, December 2013 and February 2014. **Euro Surveill**, v. 19, n. 13, 2014. Disponível em: <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=20751>. Acesso em: 31 mar. 2025.

BLANK, D. M. P.; BLANK, D. M. P. O CONTEXTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AS SUAS VÍTIMAS. **Mercator (Fortaleza)**, v. 14, n. 2, p. 157–172, 1 ago. 2015.

BRASIL, P. et al. A decade later, what have we learned from the Zika epidemic in children with intrauterine exposure? **The Lancet**, v. 406, n. 10500, p. 295–306, 1 jul. 2025.

CAMINADE, C. et al. Global risk model for vector-borne transmission of Zika virus reveals the role of El Niño 2015. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 1, p. 119–124, 19 dez. 2016.

CHIEN, L.-C. et al. Surveillance on the endemic of Zika virus infection by meteorological factors in Colombia: a population-based spatial and temporal study. **BMC Infectious Diseases**, v. 18, n. 1, 17 abr. 2018.

DICK, G. W.; KITCHEN, S. F.; HADDOW, A. J. Zika virus. I. Isolations and serological specificity. **Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 46, p. 509–520, 1952.

FARIA, N. R. et al. Establishment and cryptic transmission of Zika virus in Brazil and the Americas. **Nature**, v. 546, n. 7658, p. 406–410, 24 maio 2017.

FARIA, N. R. et al. Zika virus in the Americas: Early epidemiological and genetic findings. **Science (New York, N.Y.)**, v. 352, n. 6283, p. 345–349, 15 abr. 2016.

FOY, B. D.; KOBYLINSKI, K. C.; FOY, J. L. C.; BLITVICH, B. J.; TRAVASSOS DA ROSA, A.; HADDOW, A. D.; LANCIOTTI, R. S.; TESH, R. B. Probable non–vector-borne transmission of Zika virus, Colorado, USA. **Emerging Infectious Diseases**, v. 17, n. 5, 2011. DOI: 10.3201/eid1705.101939. Disponível em: <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=20751>. Acesso em: 18 mar. 2026.

GERDTS, C. et al. Zika Virus and Pregnancy. **Obstetrics & Gynecology**, v. 128, n. 2, p. 405, ago. 2016.

GERMAN ADVISORY COMMITTEE BLOOD (ARBEITSKREIS BLUT), Subgroup ‘Assessment of Pathogens Transmissible by Blood’. Zika Virus (ZIKV). **Transfusion Medicine and Hemotherapy**, v. 43, p. 436–446, 2016. DOI: 10.1159/000447782.

GORRIS, M. E. et al. Assessing the Influence of Climate on the Spatial Pattern of West Nile Virus Incidence in the United States. **Environmental Health Perspectives**, v. 131, n. 4, p. 47016, 1 abr. 2023.

GREGIANINI, T. S. et al. Emerging arboviruses in Rio Grande do Sul, Brazil: Chikungunya and Zika outbreaks, 2014-2016. **Reviews in Medical Virology**, v. 27, n. 6, p. e1943, 20 set. 2017.

HARRIS, M.; CALDWELL, J. M.; MORDECAI, E. A. Climate drives spatial variation in Zika epidemics in Latin America. **Proceedings of The Royal Society B: Biological Sciences**, v. 286, n. 1909, p. 20191578–20191578, 28 ago. 2019.

HEATH, K.; ALVES, L. M.; BONSALL, M. B. Climate change, urbanisation and transmission potential: Aedes aegypti mosquito projections forecast future arboviral disease hotspots in Brazil. **PLoS neglected tropical diseases**, v. 19, n. 9, p. e0013415–e0013415, 18 set. 2025.

- HUBER, J. H. et al. Seasonal temperature variation influences climate suitability for dengue, chikungunya, and Zika transmission. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, v. 12, n. 5, p. e0006451, 10 maio 2018.
- IGOR SALERNO FILGUEIRAS et al. The clinical spectrum and immunopathological mechanisms underlying ZIKV-induced neurological manifestations. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, v. 15, n. 8, p. e0009575–e0009575, 5 ago. 2021.
- LACKRITZ, E. M. et al. Zika virus: advancing a priority research agenda for preparedness and response. **The Lancet Infectious Diseases**, fev. 2025.
- LI, H. et al. The Neurobiology of Zika Virus. **Neuron**, v. 92, n. 5, p. 949–958, dez. 2016.
- LOWE, R. *et al.* Nonlinear and delayed impacts of climate on dengue risk in Barbados: A modelling study. **PLOS Medicine**, v. 15, n. 7, p. e1002613, 17 jul. 2018.
- MOORE, S. M. et al. Leveraging multiple data types to estimate the size of the Zika epidemic in the Americas. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, v. 14, n. 9, p. e0008640, 28 set. 2020.
- MURRIETA, R. A. et al. Impact of extrinsic incubation temperature on natural selection during Zika virus infection of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. **PLOS Pathogens**, v. 17, n. 11, p. e1009433, 9 nov. 2021.
- MUSSO, D. et al. Zika virus in French Polynesia 2013–14: anatomy of a completed outbreak. **The Lancet Infectious Diseases**, v. 18, n. 5, p. e172–e182, maio 2018.
- MUSSO, D.; KO, A. I.; BAUD, D. Zika Virus Infection — After the Pandemic. **New England Journal of Medicine**, v. 381, n. 15, p. 1444–1457, 10 out. 2019.
- MUSSO, D.; NHAN, T.; ROBIN, E.; ROCHE, C.; BIERLAIRE, D.; ZISOU, K.; SHAN YAN, A.; CAO-LORMEAU, V. M.; BROULT, J. Potential for Zika virus transmission through blood transfusion demonstrated during an outbreak in French Polynesia, November 2013 to February 2014. **Euro Surveill.**, v. 19, n. 14, 2014. Disponível em: <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=20761>. Acesso em: 18 mar. 2026
- OLIVEIRA, Wanderson Kleber de; FRANÇA, Giovanny Vinícius Araújo de; CARMO, Eduardo Hage; DUNCAN, Bruce Bartholow; KUCHENBECKER, Ricardo de Souza; SCHMIDT, Maria Inês. Infection-related microcephaly after the 2015 and 2016 Zika virus outbreaks in Brazil: a surveillance-based analysis. **The Lancet**, v. 390, p. 861–870, 2017. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)31368-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(17)31368-5).
- PADDA, H. et al. West Nile Virus and Other Nationally Notifiable Arboviral Diseases — United States, 2023. **MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report**, v. 74, n. 21, p. 358–364, 12 jun. 2025.
- PAZ-BAILEY, G. et al. Persistence of Zika Virus in Body Fluids — Final Report. **New England Journal of Medicine**, v. 379, n. 13, p. 1234–1243, 27 set. 2018.

PICININI FREITAS, L. et al. Zika emergence, persistence, and transmission rate in Colombia: a nationwide application of a space-time Markov switching model. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 10003, 1 maio 2024.

RABE, I. B. et al. A Review of the Recent Epidemiology of Zika Virus Infection. **The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 112, n. 5, 11 fev. 2025.

RODRIGUEZ-MORALES, A. J. Zika: the new arbovirus threat for Latin America. **The Journal of Infection in Developing Countries**, v. 9, n. 06, p. 684–685, 4 jul. 2015.

ROELL, Y. et al. Assessing vulnerability for future Zika virus outbreaks using seroprevalence data and environmental suitability maps. **PLoS neglected tropical diseases**, v. 18, n. 3, p. e0012017, 1 mar. 2024.

SAÁ, P. et al. Investigational Testing for Zika Virus among U.S. Blood Donors. **New England Journal of Medicine**, v. 378, n. 19, p. 1778–1788, 10 maio 2018.

SOEK, F. J. *et al.* Mudanças Climáticas e Infestação por Aedes Aegypti na Região Sul do Brasil. **Geo UERJ**, n. 42, 19 jun. 2023.

STONE, M. et al. Zika virus RNA and IgM persistence in blood compartments and body fluids: a prospective observational study. v. 20, n. 12, p. 1446–1456, 1 dez. 2020.

TESLA, B. et al. Temperature drives Zika virus transmission: evidence from empirical and mathematical models. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 285, n. 1884, p. 20180795, 15 ago. 2018.

WINOKUR, O. C. et al. Impact of temperature on the extrinsic incubation period of Zika virus in Aedes aegypti. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, v. 14, n. 3, p. e0008047, 18 mar. 2020.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se que a incidência de Zika vírus na Região Sul do Brasil apresentou forte associação com a sazonalidade, sendo o verão e o outono as estações consistentemente relacionadas às maiores taxas de ocorrência da doença. As análises realizadas demonstraram que, embora temperatura, precipitação e Índice de De Martonne tenham apresentado associação com a incidência em determinados modelos, a inclusão da variável estação reduziu ou eliminou a significância estatística dessas variáveis, indicando que a sazonalidade representa o principal preditor climático da transmissão do ZIKV na região estudada.

Os resultados também evidenciaram significância estatística no recorte de persistência da circulação viral nos nove municípios analisados ao longo de todo o período analisado, entre 2016 e 2024, sugerindo que o ZIKV não permaneceu restrito ao surto inicial de introdução da doença na Região Sul que ocorre em 2016. Esse achado reforça a importância da manutenção de ações contínuas de vigilância epidemiológica, mesmo em uma região historicamente considerada de menor risco para arboviroses tropicais.

Em relação às hipóteses iniciais do estudo, confirmou-se a expectativa de que fatores climáticos estariam associados à incidência da doença. Entretanto, verificou-se que a sazonalidade apresentou maior capacidade explicativa do que as variáveis climáticas analisadas isoladamente. Também foi confirmada a ocorrência de maior concentração de casos nos períodos mais quentes do ano, compatível com a dinâmica biológica do vetor *Aedes aegypti* e com evidências previamente descritas na literatura científica.

Os achados devem ser interpretados considerando algumas limitações inerentes ao delineamento ecológico adotado, à utilização de dados secundários sujeitos à subnotificação e à ausência de variáveis socioeconômicas, demográficas e relacionadas ao controle vetorial, fatores que podem influenciar a dinâmica de transmissão da doença.

Dessa forma, o estudo cumpre seu objetivo ao analisar a influência das variáveis climáticas e da sazonalidade na incidência de Zika vírus na Região Sul do Brasil, contribuindo para a compreensão da dinâmica epidemiológica da doença em uma região subtropical. Os resultados reforçam a necessidade de fortalecimento das estratégias de vigilância e controle vetorial, especialmente nos períodos que

antecedem o verão e o outono. Além disso, recomendam-se estudos futuros que incorporem fatores ambientais, socioeconômicos e entomológicos, visando ampliar a compreensão dos determinantes da transmissão do ZIKV e subsidiar políticas públicas mais efetivas de prevenção e controle.