



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE MATEMÁTICA, ESTATÍSTICA E COMPUTAÇÃO CIENTÍFICA  
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA APLICADA



SOFIA BOSSOLAN COLOMBARI

# **O impacto das mudanças climáticas na dinâmica da dengue no Brasil: uma análise a partir dos modelos matemáticos e epidemiológicos SIR e SEIR**

Campinas  
20/11/2025

SOFIA BOSSOLAN COLOMBARI

**O impacto das mudanças climáticas na dinâmica da dengue no Brasil: uma análise a partir dos modelos matemáticos e epidemiológicos SIR e SEIR**

Monografia apresentada ao Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos para obtenção de créditos na disciplina Projeto Supervisionado, sob a orientação do(a) Prof. Dr. João Frederico da Costa Azevedo Meyer.

## Resumo

Este trabalho tem como objetivo analisar o impacto das mudanças climáticas na proliferação da dengue a partir de Modelos Matemáticos Epidemiológicos SIR e SEIR. Para isso, revisamos a dinâmica dessa doença no país ao longo da história, desde a sua ao brasil até a atualidade e apresentamos os impactos que fenômenos naturais extremos causados por mudanças climáticas têm sobre a dinâmica da doença.

Para uma análise mais objetiva, foi escolhido tratar de apenas um sorotipo neste projeto e estudar os impactos causados especificamente pelo El Niño, um dos fenômenos que vem se tornando mais recorrente por conta das mudanças climáticas.

Para a metodologia, são revisados os modelos matemáticos que serão usados para descrever o cenário padrão, sendo o modelo SIR o que descreve o comportamento do mosquito, e o modelo SEIR o que descreve o comportamento do ser humano. Após isso, são inseridos os parâmetros referentes às condições climáticas do El Niño e, então, é possível ser feita uma análise acerca de como esses fatores influenciam as condições favoráveis à proliferação dessa doença.

## Abstract

This work aims to analyze the impact of climate change on dengue proliferation using SIR and SEIR Epidemiological Mathematical Models. To this end, we reviewed the disease's dynamics in the country throughout history, from its introduction to Brazil up to the present day, and presented the impacts that extreme natural phenomena caused by climate change have on the disease's dynamics.

For a more objective analysis, it was chosen to deal with only one serotype in this project and specifically study the impacts caused by El Niño, one of the phenomena that has become more recurrent due to climate change.

For the methodology, the mathematical models that will be used to describe the standard scenario are reviewed, with the SIR model describing the mosquito's behavior and the SEIR model describing the human's behavior. Following this, the parameters referring to El Niño climatic conditions are inserted, and then an analysis can be carried out on how these factors influence favorable conditions for the proliferation of this disease.

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>A dinâmica da dengue e de seu vetor no Brasil</b>	<b>7</b>
2.1	Origem do <i>Aedes aegypti</i> e chegada ao Brasil . . . . .	7
2.2	Dinâmica do vírus no mosquito e no ser humano . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Mudanças climáticas e o impacto na reprodução e vida do <i>Aedes aegypti</i></b>	<b>9</b>
3.1	Contextualização: mudanças climáticas desde a Revolução Industrial a atualidade . . . . .	9
3.2	Fatores favoráveis à reprodução e vida do <i>Aedes aegypti</i> . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Metodologia</b>	<b>11</b>
4.1	Modelo SIR e SEIR . . . . .	11
4.2	Modelos adaptados a dinâmica da dengue e seus parâmetros . . . . .	12
4.3	Modelos afetados pelo El Niño . . . . .	14
<b>5</b>	<b>Resultados</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>Conclusão</b>	<b>17</b>

# 1 Introdução

A dengue é um dos maiores desafios de saúde pública das últimas décadas, estando presente de forma endêmica em diversos países, dentre eles o Brasil. Até a década de 1980, essa doença estava presente apenas em países do Sudeste asiático e da Oceania, a partir de então, a presença dela foi encontrada em países americanos. Atualmente há no Brasil 4 sorotipos diferentes da doença, o que dificulta ainda mais o controle dessa doença. [1]

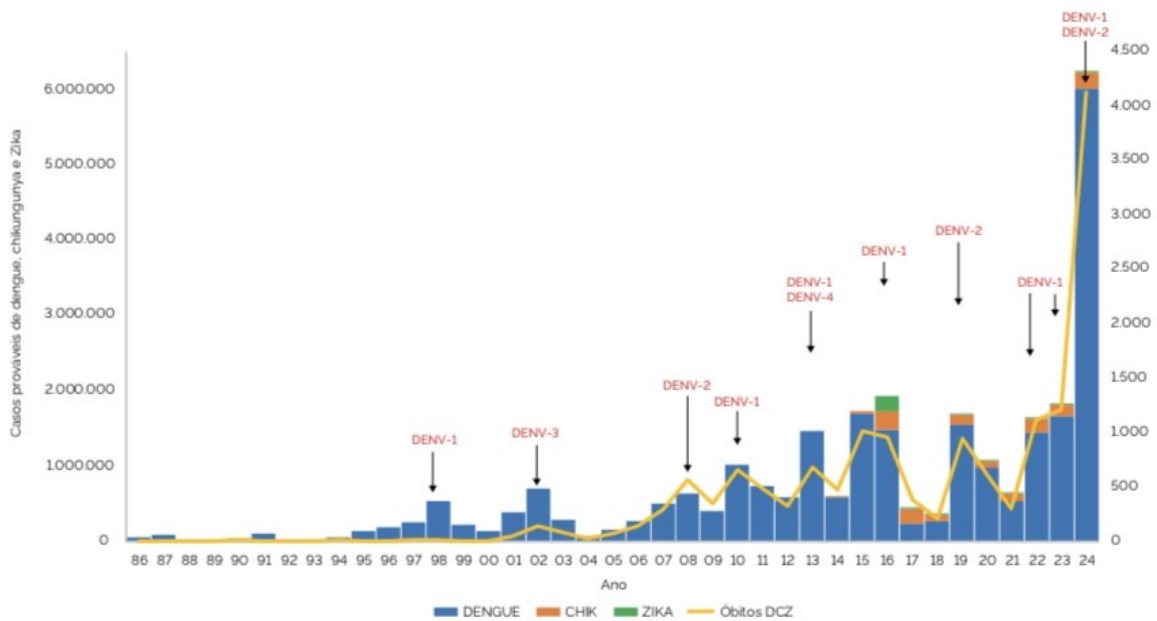


Figura 1: Série histórica dos casos prováveis, sorotipos predominantes e óbitos por dengue, chikungunya e Zika – Brasil, 1986 a 2024 [2]

Na década de 1950 houve o extermínio do vetor dessa doença, o *Aedes aegypti*, isso decorreu da aplicação de um projeto para erradicar a febre amarela no continente criado pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Entretanto, esse vetor voltou a se proliferar no país na década de 1980, agora não apenas transmitindo a febre amarela, mas também o vírus da dengue. Alguns fatores principais que influenciaram que para que se chegasse a esse cenário, foram o crescimento populacional, a urbanização e as mudanças climáticas. Além disso, a dengue é uma doença sazonal com uma determinada faixa de temperatura e de umidade relativa favorável para a proliferação da doença, sendo esses

fatores significativamente afetados pelas mudanças climáticas. Em suma, pode-se observar que a proliferação dessa doença é influenciada por diversos fatores, biológicos, históricos e socioambientais e, ao serem analisados, deve-se levar em conta o comportamento do vetor e assim como da comunidade afetada.

Logo, sabendo que o cenário atual dessa doença é multifatorial, este trabalho tem como objetivo relacionar diferentes aspectos característicos da dengue a partir da Modelagem Matemática em Epidemiologia, havendo uma maior ênfase nos parâmetros climáticos. Apesar de já se ter modelos matemáticos e epidemiológicos sobre a dengue em diferentes cenários desde a década de 1970, esse projeto tem como proposta apresentar como um dos fenômenos extremos que está sendo intensificado pelas mudanças climáticas, o El Niño, afeta a dinâmica de um sorotipo dessa doença.

## **2 A dinâmica da dengue e de seu vetor no Brasil**

### **2.1 Origem do *Aedes aegypti* e chegada ao Brasil**

O *Aedes aegypti* não é o único vetor da dengue, mas é o mais conhecido. Ele teve origem no continente africano e se espalhou pelo mundo, principalmente em áreas de clima quente e úmido, ou seja, regiões tropicais e subtropicais. Acredita-se que sua chegada ao Brasil ocorreu durante o período colonial, em navegações marítimas que vinham da África, e, a partir do começo do século XX, se tornou um problema de saúde pública do país.

Entretanto, o vírus da dengue ainda não era conhecido – seu material genético só foi sequenciado durante a segunda guerra – e o que causava preocupação acerca da proliferação do *Aedes aegypti* era a febre amarela, doença também transmitida por esse vetor. A fim de controlar essa doença, a OMS na década de 1950 criou um programa que visava exterminar o mosquito em todo o continente americano. Esse projeto foi eficiente em erradicar o mosquito até a década de 1980, quando o sorotipo DENV1 da dengue se proliferou de forma epidêmica no estado do Rio de Janeiro, em algumas regiões do nordeste e sucessivamente se espalhou por outros estados com outros sorotipos além do DENV1.

Tendo em vista a facilidade desse vírus de se adaptar ao meio urbano, além

da dengue e da febre amarela, atualmente ele também é o vetor do chikungunya e do zika vírus, outras doenças que também se tornaram uma preocupação para a saúde pública nacional. Uma das principais características desse mosquito é a sua sazonalidade, ou seja, em determinados períodos do ano há um crescimento populacional dessa espécie. Isso se deve ao fato de que o aumento de temperatura, umidade e pluviosidade são favoráveis a reprodução do mosquito, visto que ela depende do acúmulo de água parada. Por isso, a dengue é considerada uma endemia sazonal no Brasil, havendo mais casos nos meses de fevereiro a abril e menos em maio e junho, visto que são meses de menos chuva.[1]

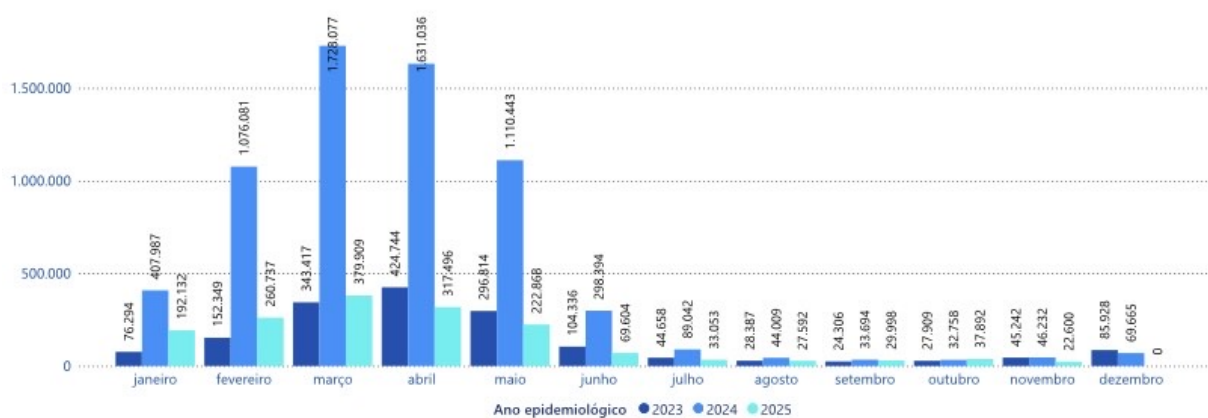


Figura 2: Casos prováveis de dengue por ano e mês em 2023, 2024, 2025 [3]

## 2.2 Dinâmica do vírus no mosquito e no ser humano

O *Aedes aegypti* tem algumas características próprias e certos comportamentos que são essenciais para descrever a dinâmica da dengue. Em primeiro lugar, a sua fêmea tem hábitos antropofílicos, ou seja, prefere se alimentar de sangue humano e, a partir desse contato entre as espécies, o ser humano é infectado caso ela esteja portando o vírus.[1]

Outro ponto crucial é a sua reprodução, que ocorre quando a fêmea deposita seus ovos em ambientes artificiais com água parada.[4] Muitas vezes, isso acontece dentro de casas ou lugares com circulação de pessoas. Depois de depositado, há o desenvolvimento do ovo até chegar na fase adulta, esse período pode ser encurtado com o aumento de temperatura. Em estudos feitos em laboratórios foi possível observar que em ambientes de temperatura de 25°C, o desenvolvimento demorou em torno de 9 dias, enquanto ao aumentar a temperatura para 27°C esse tempo necessário para chegar a fase adulta



demorou menos de 8 dias.[4]

O *Aedes aegypti* vive cerca de 1 semana, podendo chegar a 2 semanas de vida, e, após ser infectado, o mosquito fica com o vírus até morrer, contaminando todos os seres humanos com quem ele tiver contato nesse período. No mosquito, as primeiras células infectadas pelo vírus são as intestinais e ele se replica até alcançar as células salivares, por onde ocorre a transmissão dele ao ser humano. Esse intervalo de tempo é chamado de Período de Incubação Extrínseco (PIE) e dura entre 8 e 10 dias e após o contato com o vírus, enquanto o PIE no ser-humano é entre 4 e 7 dias.[4]

Alguns sorotipos do vírus tem o PIE no mosquito afetado pelo aumento de temperatura, como é o caso do DENV2 e do DENV4. Essas duas variantes do vírus passaram 9 dias no PIE a 28°C, porém esse período diminui para 5 dias a 30°C, 55% de redução do PIE.[4]

### **3 Mudanças climáticas e o impacto na reprodução e vida do *Aedes aegypti***

#### **3.1 Contextualização: mudanças climáticas desde a Revolução Industrial a atualidade**

As mudanças climáticas ocorrem naturalmente na Terra há bilhões de anos e são lentas transformações no clima e na temperatura. Entretanto, desde o século XIX, essas mudanças ocorreram aceleradamente e, atualmente, é um consenso científico de que isto está ocorrendo devido às atividades humanas, em especial a queima de combustíveis fósseis.[5] Inclusive, há autores que chamam o período em que vivemos de antropoceno – época da dominação humana – e outros de capitaloceno – era do capitalismo. Estes dois têm como objetivo demarcar a Revolução Industrial como o início das aceleradas mudanças climáticas causadas pela ação humana.

Os últimos 10 anos foram os mais quentes já registrados e, em 2024, obteve-se a maior média anual já registrada desde o início dos registros em 1880. [6] Comparando com a média do século XX (1950 - 1980), houve um aumento de 1,28°C e em relação à média pré-industrial (1850 - 1900), esse aumento foi de 2,65°C. Esses dados são alarmantes, visto

que os impactos climáticos não são homogêneos e as projeções apontam que o Brasil sofrerá mais com o aumento de temperatura. Caso a temperatura global venha a aumentar em 2°C, no Brasil esse aumento pode ser de 3°C a 3,5°C e caso o aumento geral seja de 4°C, na Brasil será de até 5,5°C. O continente americano já ultrapassou o limiar de 1,5°C no aumento da temperatura média em relação a era pré-Revolução Industrial e isso já vem gerado impactos no padrão de chuva.[6]

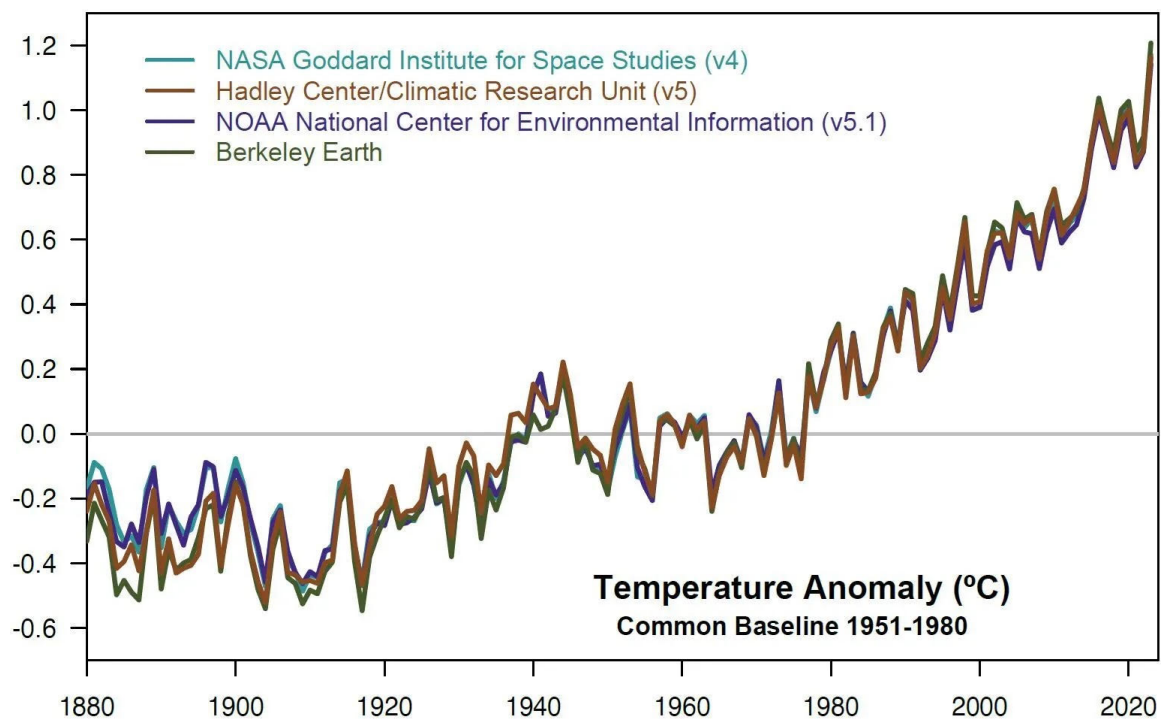


Figura 3: Temperatura média da Terra desde 1880 em relação a média do século XX (1950 - 1980)[5]

Desde 1950, houve um aumento de chuvas globalmente, mas em algumas regiões no Brasil, ocorreu uma diminuição na precipitação. A região central do Brasil e o Leste da Amazônia vão sofrer uma diminuição entre 10% e 20% com os possíveis aumentos de 2°C ou 4°C.[7] Já outras regiões, como o Sul, a tendência é de aumentar a pluviosidade, o que é mais semelhante com o cenário global, onde a cada um grau a mais de temperatura, a precipitação cresce em 7%. De qualquer forma, seja o aumento ou diminuição das chuvas em cada lugar, a medida que a temperatura média aumenta, mais frequentes serão os fenômenos naturais extremos, como enchentes, ciclones e secas.[7] Tudo isso tem impacto na economia, nos ecossistemas e na saúde.

### 3.2 Fatores favoráveis à reprodução e vida do *Aedes aegypti*

Como apresentado acima, têm acontecido fenômenos que levam a condições propícias à proliferação do vetor e, em consequência, da dengue, isso deve-se principalmente às condições propícias à reprodução e a vida do mosquito *Aedes aegypti*. Um dos fatores mais importantes para isso é a temperatura do ambiente, tanto para a reprodução quanto para o período de incubação. Nesse trabalho, os impactos do aumento de temperatura média serão analisados a partir da influência do El Niño na dinâmica do mosquito, visto que esse fenômeno tem se tornado cada vez mais recorrente devido às mudanças climáticas. [8]

Além das variáveis meteorológicas locais, a reprodução e a infestação do *Aedes aegypti* são significativamente moduladas por fenômenos climáticos de larga escala, como o El Niño-Oscilação Sul (ENOS). O ENOS, é portanto reconhecido pela variação das temperaturas oceânicas e padrões de pressão atmosférica, gera teleconexões que alteram extensivamente as condições climáticas regionais. [9]

O El Niño, a fase quente do ENOS, é reconhecido por intensificar a infestação do vetor em diversas regiões. Isso se deve ao fato desse fenômeno aumentar a temperatura sazonal e, conseqüentemente, passar do limiar de 23,30 °C, o que favorece a reprodução do mosquito.[9] A persistência de temperaturas elevadas, mesmo em épocas tradicionalmente mais frias do ano, prolonga o período de desenvolvimento do vetor e de replicação viral. A avaliação quantitativa do risco demonstrou que eventos de El Niño, de intensidade moderada a forte, estão associados a um aumento esperado de 1,30 unidade no número de recipientes positivos (indicadores de infestação larvária) quando comparados a períodos neutros.[9]

## 4 Metodologia

### 4.1 Modelo SIR e SEIR

O modelo SIR descreve um cenário epidemiológico onde os indivíduos de uma população são divididos em Suscetíveis (S), Infectados (I) e Recuperados ou Removidos (R). Assim, juntando os três grupos temos a população total desse cenário (N). Resu-

mindendo, temos indivíduos que estão sem contato com a doença representado pelo Suscetíveis, os que já tiveram esse contato (infectados) e os removidos (mortos pela doença) ou indivíduos que se recuperaram da enfermidade caso ela não seja letal, e, consequentemente, voltam a fazer parte dos suscetíveis. [10]

Esses três grupos podem ser descritos como sistema não linear de equações com a com a variação do número de indivíduos em cada compartimento sendo decorrente do tempo.

O modelo SIR se mostra eficiente para casos de doenças sem o período de incubação do vírus no hospedeiro, isto é, o tempo da própria contaminação é tão rápido que não é significativo para o modelo. Neste trabalho, é considerado o tempo de incubação para os resultados e análises, logo, acrescentamos a categoria E para aqueles indivíduos que foram expostos ao vírus, mas ainda não podem infectar outros hospedeiros.

## 4.2 Modelos adaptados a dinâmica da dengue e seus parâmetros

Para representar a dinâmica da dengue nesses modelos apresentados previamente, primeiro é necessário as duas populações que interagem nesse sistema, sendo a primeira a população humana e a segunda a população do *Aedes aegypti*. O ser-humano, se comporta em um modelo SEIRS, visto que ele possui tempo de incubação e pode voltar a ser suscetível, visto que a dengue não é uma doença letal na maioria dos casos. Logo, é possível escrever o sistema de EDOs e seus parâmetros[1] como:

Tabela 1: Tabela de parâmetros da população humana

Parâmetro	Descrição
$\lambda_h$	Taxa de natalidade humana
$\mu_h$	Taxa de mortalidade humana natural
$\mu_d$	Taxa de mortalidade humana por dengue
$\beta$	Taxa de picadas
$\rho_h$	Tempo de incubação do vírus no humano
$\delta$	Tempo de recuperação
$\omega$	Tempo imune
$K_h$	Capacidade suporte humana

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = \frac{-\beta S(t)}{N_h(t)} + \lambda_h N_h(t) \left(1 - \frac{N_h(t)}{K}\right) + \omega R(t) - \mu_h S(t) \\ \frac{dE}{dt} = \frac{-\beta}{N_h(t)} S - \rho E(t) - \mu_h E(t) \\ \frac{dI}{dt} = \rho E(t) - \delta I - (\mu_h + \mu_d) I(t) \\ \frac{dR}{dt} = \delta I(t) - \omega R(t) - \mu_h R(t) \end{cases} \quad (1)$$

Agora, ao modelar a dinâmica do mosquito, sabemos que ele também tem um período de incubação, mas não volta a ser suscetível, tendo em vista que, a partir do momento em que ele tem contato com o vírus, transmite ele até morrer. Além disso, ele tem uma maior reprodução em meses quentes e chuvosos, o que transforma a taxa de natalidade dele em um parâmetro sazonal e, por isso, é escrita como uma curva de formato cossenóide. Ou seja, seu modelo pode ser escrito com seus parâmetros[1] e na forma de SIR:

Tabela 2: Tabela de parâmetros da população do vetor

Parâmetro	Descrição
$\lambda_m$	Taxa de natalidade dos mosquitos
$\mu_m$	Taxa de mortalidade natural
$\beta_{hv}$	Taxa efetiva de contato humano-vetor
$\rho_m$	Tempo de incubação do vírus no mosquito
$K_m$	Capacidade suporte dos mosquitos

$$\begin{cases} \frac{dM_s}{dt} = \frac{-\beta_{hv}}{N_h(t)} M_s(t) I(t) + \lambda_m (2 + \cos(\theta t)) N_m(t) \left(1 - \frac{N_m(t)}{K_m}\right) - \mu_m M_s(t) \\ \frac{dM_e}{dt} = \frac{\beta_{hv}}{N_h(t)} M_s(t) I(t) - \rho_m M_e(t) - \mu_m M_e(t) \\ \frac{dM_p}{dt} = \rho_m M_e(t) - \mu_m M_p(t) \end{cases} \quad (2)$$

Podemos então juntar os dois sistemas em um só:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dS}{dt} = \frac{-\beta S(t)}{N_h(t)} + \lambda_h N_h(t) \left(1 - \frac{N_h(t)}{K}\right) + \omega R(t) - \mu_h S(t) \\ \frac{dE}{dt} = \frac{-\beta}{N_h(t)} S - \rho E(t) - \mu_h E(t) \\ \frac{dI}{dt} = \rho E(t) - \delta I - (\mu_h + \mu_d) I(t) \\ \frac{dR}{dt} = \delta I(t) - \omega R(t) - \mu_h R(t) \\ \frac{dM_s}{dt} = \frac{-\beta_{hv}}{N_h(t)} M_s(t) I(t) + \lambda_m (2 + \cos(\theta t)) N_m(t) \left(1 - \frac{N_m(t)}{K_m}\right) - \mu_m M_s(t) \\ \frac{dM_e}{dt} = \frac{\beta_{hv}}{N_h(t)} M_s(t) I(t) - \rho_m M_e(t) - \mu_m M_e(t) \\ \frac{dM_p}{dt} = \rho_m M_e(t) - \mu_m M_p(t) \end{array} \right. \quad (3)$$

O último passo para que seja possível efetuar a simulação numérica é determinar os valores numéricos de cada parâmetro para o modelo padrão[1]:

Tabela 3: Número de indivíduos no Cenário Padrão

Parâmetro	Valor
$\lambda_h$	0,01
$\mu_h$	$\frac{1}{28.000}$
$\mu_d$	0,0044
$\beta$	0,75
$\rho_h$	$\frac{1}{5}$
$\delta$	$\frac{1}{7}$
$\omega$	$\frac{1}{365}$
$K_h$	50.000
$\lambda_m$	0,15
$\mu_m$	$\frac{1}{15}$
$\beta_{hv}$	0,375
$\rho_m$	$\frac{1}{5}$
$K_m$	15.000

### 4.3 Modelos afetados pelo El Niño

Após estabelecido o modelo padrão do ser-humano e do mosquito, pode-se alterar parâmetros deste mesmo modelo a partir da influência do El Niño neles. Esse fenômeno afeta fortemente a reprodução e o tempo de incubação do mosquito, como já discutido anteriormente. Logo, o parâmetro de reprodução do mosquito é multiplicado por 1,30, visto que esse foi o valor de diferença entre o cenário padrão e o cenário com o

El Niño.[9] Além disso, também é possível aumentar o parâmetro de tempo de incubação em 55,5%[4], visto que esse período é diminuído nessa porcentagem, como apresentado acima, em alguns sorotípos à temperaturas semelhantes à média do Brasil nos meses de pico dessa doença, logo a proliferação do vetor é favorecida. [11]

## 5 Resultados

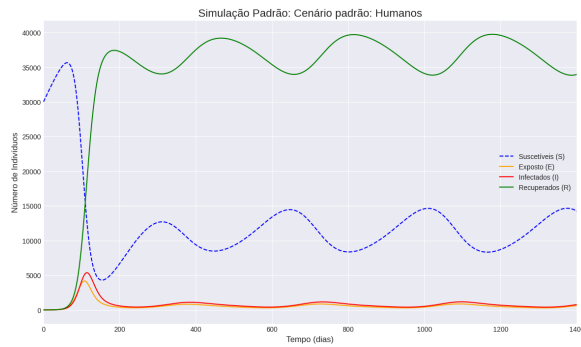


Figura 4: Cenário padrão: Ser humano

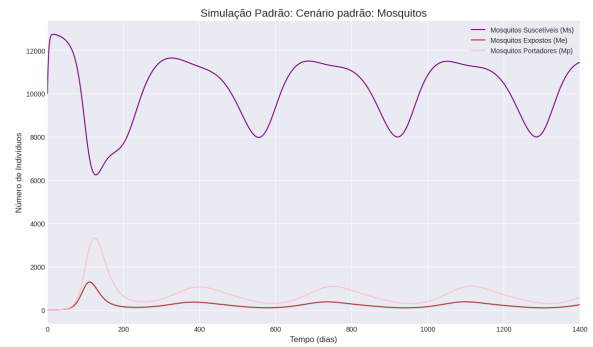


Figura 5: Cenário padrão: Mosquito

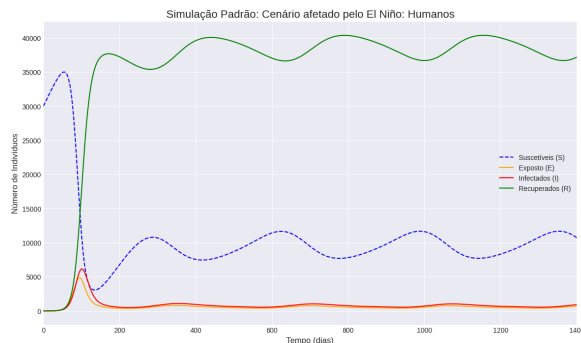


Figura 6: Cenário afetado pelo El Niño: Ser humano

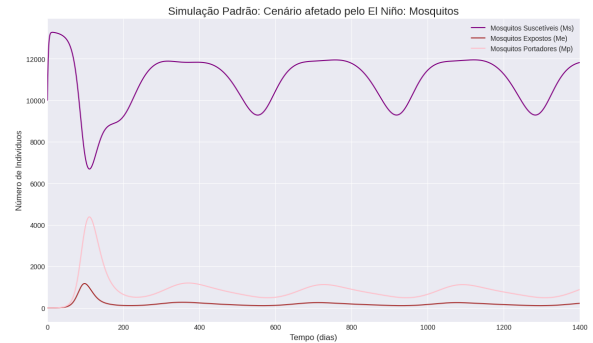


Figura 7: Cenário afetado pelo El Niño: Mosquito

Tabela 4: Número de indivíduos no Cenário Padrão

Categoria	Pico Máximo	Dia do Pico	Valor no Final
Suscetíveis	35637	62	14237
Exposto	4174	108	615
Infectados	5360	114	774
Recuperados	39731	1177	33942
Mosquitos Suscetíveis	12746	16	11447
Mosquitos Expostos	1290	111	240
Mosquitos Portadores	3326	124	603

Tabela 5: Número de Indivíduos no Cenário afetado pelo El Niño

<b>Categoria</b>	<b>Pico Máximo</b>	<b>Dia do Pico</b>	<b>Valor no Final</b>
Suscetíveis	34980	54	10720
Exposto	4873	95	703
Infectados	6145	101	919
Recuperados	40357	1154	37169
Mosquitos Suscetíveis	13272	13	11819
Mosquitos Expostos	1173	98	220
Mosquitos Portadores	4381	110	888

Tabela 6: Diferença entre os Picos Máximos de cada Categoria

<b>Categoria</b>	<b>Valores Aproximados Relacionando os Dois Cenários</b>
Suscetíveis	-1,8%
Exposto	+16,7%
Infectados	+14,6%
Recuperados	+15,8%
Mosquitos Suscetíveis	+4,1%
Mosquitos Expostos	-9,0%
Mosquitos Portadores	+31,7%

A partir dos resultados apresentados em gráficos e tabelas, é possível perceber que, à primeira vista, não aparenta haver uma expressiva diferença entre os dois cenários. De fato, a dinâmica da doença segue a mesma, se comportando de forma sazonal. Entretanto, é possível ver que, com o El Niño, os Expostos, os Infectados, os Mosquitos Suscetíveis, os Mosquitos Expostos e principalmente os Mosquitos Portadores obtiveram mudanças na suas quantidades de indivíduos no pico máximo.

Certamente, os Mosquitos Portadores tiveram o aumento mais notável, com um crescimento de 31,7% no número de indivíduos em relação ao cenário padrão. Os Suscetíveis não tiveram nenhuma alteração significativa nos seus valores e a categoria Mosquitos Suscetíveis teve um leve crescimento de 4,1%. Já as outras categorias citadas anteriormente, tiveram crescimentos significativos no pico máximo, porém menores que os Mosquitos Portadores e maiores que os Mosquitos Suscetíveis. Em ordem crescente, os Infectados cresceram em 14,6%, os Recuperados em 15,8% e os Expostos em 16,7%. O único grupo que apresentou um decréscimo significativo foi o dos Mosquitos Expostos com 9,0% de diminuição no valor do Pico Máximo.

Esses resultados demonstram que os parâmetros influenciados pelo El Niño aumentam a proliferação da dengue. Pode-se chegar a essa conclusão tendo em vista



principalmente o aumento de Infectados e Expostos pelo vírus, além do expressivo aumento nos Mosquitos Portadores. Sendo este resultado esperado visto que o El Niño afeta diretamente a reprodução e o tempo de incubação no mosquito e, por consequência, facilita a infecção da dengue nos seres humanos.

## 6 Conclusão

A partir do estudo de diferentes áreas do conhecimento e da análise de Modelos Matemáticos e Epidemiológicos, podemos observar que a dinâmica da dengue propriamente dita não é fortemente afetada, dado a semelhança dos gráficos. Entretanto, há um significativo aumento no número de Infectados, Expostos e Mosquitos Portadores. Visto a alta adaptabilidade dos modelos aqui apresentados, é possível incluir mais parâmetros climáticos, sociais e biológicos que alterariam o comportamento dos indivíduos do sistema. Este trabalho tinha como intuito tratar da dinâmica de um único sorotipo afetado por mudanças climáticas e, como pode-se ver, com pequenas mudanças nos parâmetros que representam a ação do El Niño, já é possível observar um significativo aumento de casos de dengue.

## Referências

- [1] Laís Zorzo Buzo. Compartmental models for dengue : delay differential equations and applications in education. Master's thesis, Universidade Estadual de Campinas, 2023. Acessado em: 2025-11-23.
- [2] Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. Boletim epidemiológico, 2024. Acessado em: 2025-11-23.
- [3] Ministério da Saúde. Painel de monitoramento das arboviroses, 2025. Acessado em: 2025-11-23.
- [4] Tamara Nunes Lima-Camara. A dengue é produto do meio: uma abordagem sobre os impactos do ambiente no mosquito aedes aegypti e nos casos da doença. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, 27, 2024.
- [5] NASA. Scientific consensus, 2023.
- [6] NASA. Global temperature - earth indicator, 2025.
- [7] Alisson, Elton. Aquecimento global deve causar aumento generalizado da temperatura no brasil, indica ipcc, 2021.
- [8] Jornal da USP. El niño está sendo intensificado pelas mudanças climáticas, trazendo chuvas mal distribuídas, 2023.
- [9] Pirani, Monica ; Lorenz, Camila ; de Azevedo, Thiago Salomao ; Barbosa, Gerson Laurindo ; Blangiardo, Marta ; Chiaravalloti-Neto, Francisco. Effects of the el nino-southern oscillation and seasonal weather conditions on aedes aegypti infestation in the state of sao paulo (brazil): A bayesian spatio-temporal study. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 18(9):20–pg., 2024.
- [10] Leah Edelstein-Keshet. *Mathematical Models in Biology*. McGraw-Hill, New York, 1988.
- [11] Instituto Nacional de Meteorologia. Normais climatológicas 1991-2020, 2022. Acessado em: 2025-11-23.