

INCIDÊNCIA DE DENGUE NO RIO GRANDE DO SUL: MODELAGEM MATEMÁTICA INTERDISCIPLINAR COM ELEMENTOS CLIMÁTICOS EM FENÔMENOS EL NIÑO E LA NIÑA

LEONARDO FERREIRA DOS SANTOS¹; CLAUS HAETINGER¹; RÉGIS SPEROTTO DE QUADROS¹

¹*Universidade Federal de Pelotas, Mestrando bolsista CAPES do PPGMMAT – ferreira141198@gmail.com*

¹*Universidade Federal de Pelotas, Professor do PPPGMMAT – claus.haetinger@gmail.com*

¹*Universidade Federal de Pelotas, Professor do PPPGMMAT – quadros99@gmail.com*

1. INTRODUÇÃO

A dengue é uma arbovirose transmitida pelo mosquito *Aedes aegypti*, caracterizada como uma doença infecciosa não contagiosa com quatro sorotipos (DENV-1 a DENV-4), manifestando-se principalmente sob duas formas: dengue clássica (DC) e grave (DG). Ambas apresentam sintomas comuns, como febre e dores articulares e musculares, que duram de 5 a 7 dias (BRASIL, 2024).

O Brasil é o país mais afetado pela dengue das Américas (OPAS, 2024), com destaque para o Rio Grande do Sul (RS), que bateu recorde de casos em 2024, registrando cerca de 190 mil, superando os 68 mil casos de 2022. Além disso, o número de óbitos no estado ultrapassou o acumulado desde 2015 (SECRETARIA DA SAÚDE DO RIO GRANDE DO SUL, 2024).

Elementos climáticos influenciam a ecologia do vetor (ABDULLAH, 2022), sendo afetados pelo El Niño Oscilação Sul (ENOS), que provoca variações na temperatura do Pacífico Equatorial, resultando em um aquecimento (El Niño) ou resfriamento (La Niña) (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2016). Essas oscilações são influenciadas pelo aquecimento global (SUN et. al, 2023; HAM, 2018). Este estudo buscou analisar a relação entre os anos de forte La Niña (2010-2011) e El Niño (2023-2024) e a incidência da doença no estado.

A metodologia envolve a análise de dados climáticos obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), calculando médias anuais de temperatura, umidade e precipitação para cada fenômeno. Em seguida, foi simulado o comportamento da doença utilizando o modelo compartmental Suscetível-Exposto-Infectado-Recuperado-Suscetível (SEIRS) (GEMAQUE e ARAÚJO, 2011) aprimorado, resolvido pelo método numérico de Runge-Kutta de quarta ordem (RK-4) (MOLTER et. al., 2016). As simulações foram associadas

aos dados de casos notificados pela Secretaria Estadual de Saúde do Rio Grande do Sul, por meio do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN).

2. METODOLOGIA

Foi realizada a análise de dados climáticos obtidos do INMET, referentes a 34 estações meteorológicas, considerando uma janela temporal de um ano para cada fenômeno. Para isso, foi elaborado um algoritmo em Python, em que os dados foram convertidos de horas para dias, e, posteriormente, calculadas as médias anuais de temperatura, umidade e precipitação para cada cidade e, por fim, foi obtida a média das médias destas variáveis.

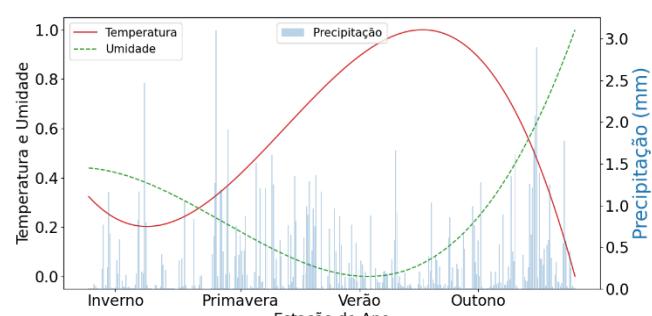
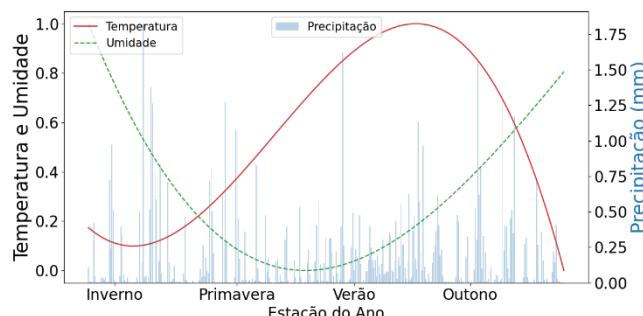
Para lidar com os dados faltantes, foi utilizada a técnica de médias móveis, preenchendo lacunas com a média dos valores vizinhos, visto que as ausências eram pequenas. As curvas sazonais de temperatura e umidade foram ajustadas por polinômios de grau três, enquanto a precipitação foi representada por gráficos de barras.

No modelo epidemiológico SEIRS, os elementos climáticos afetam diretamente a ecologia do vetor. A temperatura influencia a taxa de transmissão humano-vetor e a incubação viral, enquanto a umidade afeta a taxa vetor-humano e a longevidade do vetor. A precipitação impacta o comportamento dos suscetíveis.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

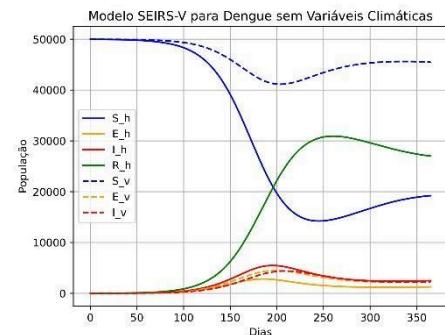
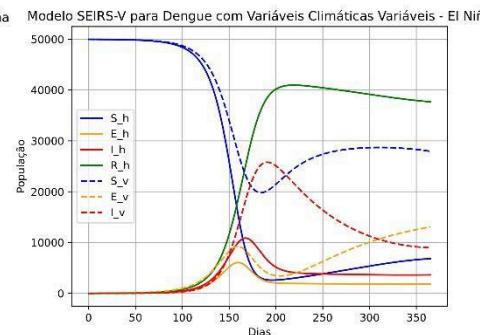
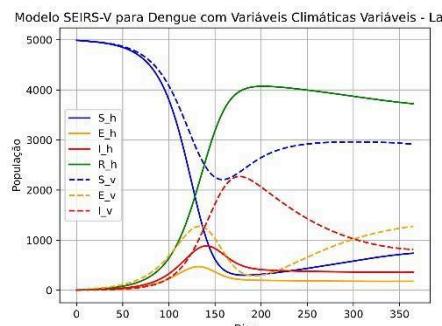
Após o cálculo das médias e a simulação da dinâmica da doença, considerando os fenômenos climáticos analisados e um cenário sem a influência desses fatores, foram obtidos os gráficos ilustrados nas Figuras 1 e 2.

Figura 1: Médias ao longo do ano: La Niña e El Niño



Fonte: Dos Autores.

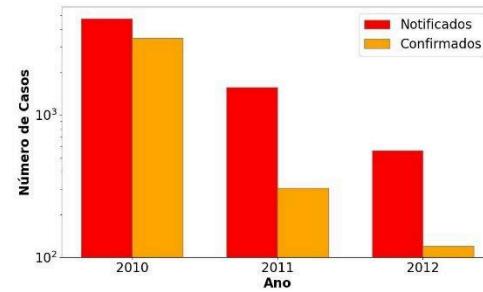
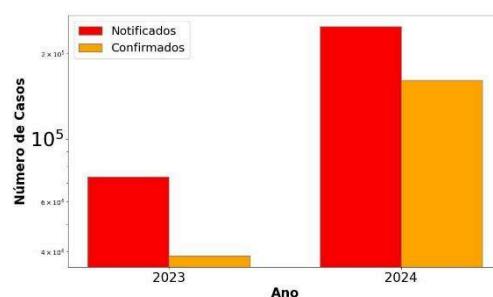
Figura 2: Dinâmica da dengue: La Niña, El Niño e Sem Elementos Climáticos



Fonte: Dos Autores

Em relação às médias climáticas, observou-se que a precipitação foi mais elevada durante o El Niño em comparação com La Niña, assim como os demais elementos climáticos. Quanto às simulações, o maior número de vetores e humanos infectados entre os dias 100-150 e 150-200, respectivamente, ocorreu durante o El Niño. Ao comparar os fenômenos climáticos com a dinâmica sem a influência dos fatores climáticos, verificamos pouca variação entre os vetores suscetíveis, corroborando que o modelo é eficiente em capturar a dinâmica da doença.

Figura 3: Casos notificados e confirmados: El Niño e La Niña



Fonte: Dos autores.

De fato, ao analisar os dados oficiais de casos de dengue contidos na Figura 3, observamos que o El Niño estudado, com suas condições climáticas mais favoráveis, apresentou o maior número de casos; enquanto o La Niña, com condições menos favoráveis, resultou em uma menor incidência da doença.

4. CONCLUSÕES

A principal contribuição deste trabalho é o modelo epidemiológico aprimorado para o estado do RS, que está em consonância com a literatura, reforçando estudos anteriores ao demonstrar que condições ambientais favoráveis resultam em um aumento da incidência da dengue. A inclusão de

fatores climáticos no modelo destaca a relevância de variáveis como temperatura, umidade e precipitação na dinâmica da doença, evidenciando a influência direta do ambiente na ecologia do vetor e, consequentemente, na transmissão da doença.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULLAH, N. A. M. H.; DOM, N. C.; SALLEH, S. A.; SALIM, H.; PRECHA, N. The association between dengue case and climate: a systematic review and meta-analysis. **One Health**, v. 15, p. 100452, 2022. DOI: 10.1016/j.onehlt.2022.100452.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Dengue**. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/d/dengue>. Acesso em: 19 set. 2024.

GEMAQUE, A. O.; ARAÚJO, P. M. **Modelo Matemático da Transmissão de Dengue**. 2011. [Dissertação de Mestrado em Matemática] – Universidade Federal do Amapá, Macapá-AP.

HAM, Y. El Niño events will intensify under global warming. **Nature**, v. 564, n. 7735, p. 192-193, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/d41586-018-07638-w>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **El Niño**. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/elnino/pt>. Acesso em: 19 set. 2024.

JORNAL DA USP. **El Niño está sendo intensificado pelas mudanças climáticas, trazendo chuvas mal distribuídas**. 2023. Disponível em: <https://jornal.usp.br/actualidades/el-nino-esta-sendo-intensificado-pelas-mudancas-climaticas-trazendo-chuvas-mal-distribuidas/>. Acesso em: 19 set. 2024.

MOLTER, A.; PIOVESAN, L. R.; PERGHER, R.; VARRIALE, M. C. Controle ótimo em epidemias de dengue. **TEMA** (São Carlos), São Carlos, v. 17, n. 2, p. 129, 2016. DOI: 10.5540/tema.2016.017.02.0129.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DE SAÚDE. **Dengue**. 2024. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/topicos/dengue#info>. Acesso em: 19 set. 2024.

SECRETARIA DA SAÚDE DO RIO GRANDE DO SUL. **Painel de Casos de Dengue**. 2024. Disponível em: https://ti.saude.rs.gov.br/dengue/painel_de_casos.html. Acesso em: 13 jun. 2024.

SUN, Q.; ZWIERS, F. W.; ZHANG, X.; TAN, Y. The effect of greenhouse gas-induced warming on the impact of El Niño and La Niña events on daily precipitation extremes in the boreal cold season. **Journal of Climate**, v. 36, n. 18, p. 6393-6407, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1175/jcli-d-22-0713.1>.