

O Sistema Integrado de Alertas Socioambientais (SISAM): uma concepção baseada no Sistema de Alerta SACDengue

The Integrated System of Socio-environmental Alerts (SISAM): a concept based on the SACDengue Alert System

¹Paulo Sergio Caikoski, ¹Gabriel Silva Maticolli, ¹Leonardo Jardim e Silva, ¹Larissa Felipe Superchinski, ¹Felipe José Soek, ²Wilson Flavio Feltrim Roseghini, ²Pedro Augusto Breda Fontão

¹Discentes do Departamento de Geografia – Universidade Federal do Paraná

²Docentes do Departamento de Geografia – Universidade Federal do Paraná (feltrim@ufpr.br)

RESUMO: O presente estudo analisa os resultados de mais de uma década de funcionamento do SACDENGUE - Sistema de Alerta Climático de Dengue, elaborado pelo Laboratório de Climatologia - LaboClima, da Universidade Federal do Paraná. Baseando-se no princípio de divulgação de informações científicas à população e aos sistemas de saúde, o estudo tem por objetivo reconhecer e valorizar a importância das atividades de monitoramento, mapeamento e alerta de riscos climáticos para a circulação de enfermidades, permitindo identificar a formação de situações meteorológicas favoráveis à reprodução de vetores e/ou à disseminação de agentes patológicos com potencial de causar prejuízos à sociedade, contribuindo assim para o planejamento e a gestão de riscos climáticos. Para tanto, as atividades possuem vínculo direto com o ensino-pesquisa-extensão, tendo em vista a metodologia estruturada em três pilares que contemplem a difusão dos produtos e conhecimentos gerados, sendo eles: 1) a elaboração e divulgação de mapas e boletins semanais de alerta climático; 2) o desenvolvimento e aprimoramento de Sistemas de Alerta Climático através de revisão de literatura teórico-conceitual; 3) atividades de treinamento de discentes da graduação e pós-graduação em nível técnico, analítico e de pesquisa na área de Climatologia e Geografia da Saúde. Através da análise da série histórica de funcionamento do sistema, foi possível identificar a predominância de uma área de alto risco climático para a dengue nas regiões norte, noroeste e oeste do Paraná. Desse modo, espera-se que, por meio da produção de novos conhecimentos e sua difusão, o projeto possa contribuir diretamente com os órgãos de saúde em diversos níveis e para o benefício da população paranaense e brasileira.

Palavras Chave: Climatologia. Monitoramento. Geografia. Saúde. Dengue.

ABSTRACT: The present study analyzes the results of more than a decade of operation of SACDENGUE - the Dengue Climate Alert System, developed by the Climatology Laboratory (LaboClima) at the Federal University of Paraná. Based on the principle of disseminating scientific information to the population and healthcare systems, the study aims to recognize and highlight the importance of monitoring, mapping, and alerting activities regarding climate risks for disease transmission. These activities enable the identification of meteorological conditions favorable to the reproduction of vectors and/or the spread of pathogenic agents with the potential to harm society, thereby contributing to climate risk planning and management. To achieve this, the activities are directly linked to teaching, research, and outreach, employing a methodology structured around three pillars that encompass the dissemination of generated products and knowledge: the creation and dissemination of weekly climate alert maps and bulletins; the development and enhancement of Climate Alert Systems through theoretical-conceptual literature review; training activities for undergraduate and graduate students at technical, analytical, and research levels in the fields of Climatology and Health Geography. Through the analysis of the system's historical series, it was possible to identify a predominant area of high climate risk for dengue in the northern, northwestern, and western regions of Paraná. Thus, it is expected that, through the production of new knowledge and its dissemination, the project can directly contribute to health agencies at various levels and benefit the population of Paraná and Brazil.

Keywords: Climatology. Monitoring. Geography. Health. Dengue.

1. INTRODUÇÃO

A saúde pública é uma questão fundamental para a sociedade, podendo ser avaliada através de diversos aspectos sociais e ambientais, como é o caso da dimensão espacial do processo saúde-doença. Nessa perspectiva, a doença, quando entendida enquanto um fenômeno biocultural, representa um acontecimento biológico independente do ser humano

que, ao ser enfrentada por toda a população, demanda a elaboração de ferramentas práticas e simbólicas para seu tratamento, tornando-se indissociável de uma dimensão cultural e histórica (LÖWY, 2005). Simultaneamente, Laurell (1982) afirma que a saúde se manifesta enquanto processo social e que, por consequência, a doença e seus transtornos biológicos característicos não ocorrem de maneira separada da coletividade que determina os modos de viver.

Dentre as doenças emergentes em território brasileiro, a dengue chama a atenção no cenário contemporâneo. Com o primeiro caso registrado de surto da doença no Brasil datando de 1981 e 1982, em Boa Vista - Roraima (BEZERRA *et al.* 2021), essa doença pode ser transmitida tanto pelo *Aedes Albopictus*, vetor que prefere ambientes rurais ou periurbanos, quanto pelo *Aedes Aegypti*, mosquito mais atuante em ambientes urbanos e grande responsável pela transmissão do vírus da dengue no país (VALLE *et al.* 2021).

Ao longo da segunda metade do século XX, a dissipação descontrolada desse vetor se deu principalmente devido ao crescimento urbano desordenado das cidades brasileiras, controle inadequado do mosquito e de sistemas de saneamento básico (BANU *et al.*, 2016; SILVA e ANGERAMI, 2008,) que, em associação com a destruição de habitats naturais, influenciou a adaptação do mosquito para prosperar no mesmo espaço que os seres humanos (CHRISTOPHERS, 1960), em oposição ao centro endêmico original de outras subespécies mais primitivas do gênero *Aedes* (CROVELLO e HACKER, 1972).

Essa rápida capacidade adaptativa do *A. Aegypti* é enfatizada por Barata *et al.* (2001) quando apontam, por exemplo, que a preferência dos mosquitos por espaços intradomiciliares teria permitido sua sobrevivência mesmo com o grande emprego do fumacê no decorrer do século XX, dentre outras características que fizeram o mosquito ter bastante relevância nos assentamentos humanos ao longo do tempo (VALLE *et al.* 2021).

Outro aspecto que merece destaque é sua capacidade de deslocamento, uma vez que o mosquito pode se deslocar até 800m, se necessário, a fim de depositar os ovos (REITER, 1996), embora seja mais provável que o principal responsável pela dispersão do mosquito no percurso de grandes distâncias tenha sido o transporte de pneus usados (RODRIGUES, 1997).

Tendo em vista a grande relevância que a Febre Amarela possuiu no decorrer da história, principalmente na primeira metade do século XX (LÖWY, 2005), a busca de relações entre o *A. Aegypti* e as variáveis climáticas já é relativamente antiga. Pesquisas acerca da Febre Amarela e da distribuição do mosquito levaram, inclusive, à introdução do campo da Geografia na área de saúde (GUIMARÃES, 2013). Como exemplos, Christophers (1960) delimitou a abrangência global do *A. Aegypti*, relacionando-a às isotermas de 10°C, enquanto Valle *et al.* (2015) trouxeram uma atualização do trabalho onde, por meio de dados da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2024), em 2011 já se mostrava a relação entre a distribuição das isotermas de 10°C e os países com risco de transmissão de dengue.

Natal (2002), por sua vez, apontou que a faixa ótima de temperatura para mosquitos estaria entre 20°C e 30°C, convergindo com pesquisas em laboratório, e ressaltou que a faixa de temperatura adequada para o mosquito alado está entre 15 e 30°C, sendo aproximadamente 26°C a temperatura que as larvas se desenvolvem mais rapidamente e a fêmea põe mais ovos, ao passo que a partir de 36°C passa a ser erradicado naturalmente (YANG *et al.* 2009).

Levando em consideração a relevância epidemiológica histórica da dengue no Brasil, é fundamental a investigação científica da distribuição e reprodução do vetor responsável pela transmissão da doença, principalmente no espaço urbano (TAUIL, 2001), e em um contexto de mudanças climáticas (EPSTEIN *et al.*, 1998). Nesse cenário, as universidades assumem um papel importante na construção conjunta de conhecimento com a sociedade civil e, por meio da extensão universitária, têm o potencial de auxiliar na identificação e na elaboração de estratégias de combate a problemáticas da comunidade externa, como a partir da divulgação de alertas climáticos.

Assim, o projeto Sistema Integrado de Alertas Socioambientais (SISAM) é um projeto de extensão desenvolvido pelo Laboratório de Climatologia (LaboClima) do curso de Geografia da Universidade Federal do Paraná (UFPR), tendo sua origem em janeiro de 2011 e inicialmente conhecido como Sistema de Alerta Climático-Meteorológico - SACDENGUE, e hoje congregando também o SACER - Sistema de Alerta Climático para Enfermidades Respiratórias, criado em 2020 durante a pandemia de COVID-19. Esse trabalho visa a apresentação e divulgação do referido projeto, apresentando brevemente seu histórico, metodologia empregada, bem como alguns dos produtos gerados ao longo dos trabalhos.

2. MATERIAIS E MÉTODO

Para a execução do sistema, foi realizada uma parceria com o SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná) de modo a se obter diariamente dados meteorológicos de estações selecionadas, os quais são disponibilizados em formato .txt na escala horária. A partir desses dados, a gestão e execução do sistema, bem como a formulação dos seus produtos e diagnósticos, são de responsabilidade do LaboClima. As estações foram selecionadas visando não só uma distribuição espacial representativa, como também um monitoramento mais detalhado das regiões epidêmicas.

Neste momento, as 26 cidades paranaenses que possuem estações meteorológicas e fornecem dados para o sistema de alerta são: Apucarana, Cambará, Campo Mourão, Capitão Leônidas Marques, Cascavel, Cianorte, Curitiba, Foz do Iguaçu, Francisco Beltrão, Guaíra, Guarapuava, Guaratuba, Jaguariaíva, Lapa, Laranjeiras do Sul, Londrina, Maringá, Palmas, Palmital, Paranaguá, Paranaíba, Ponta Grossa, Santa Helena, Telêmaco Borba, Umuarama e União da Vitória.

Com base nos dados meteorológicos disponibilizados, são totalizados o número de horas semanais em que as temperaturas permaneceram dentro da faixa considerada ideal para a reprodução mais rápida do vetor (7 a 9 dias), ou seja, variando entre 22°C e 30°C, em uma média de 26°C (BESERRA *et al.*, 2006), além da disponibilidade de água no ambiente que é definida pela quantidade de chuva precipitada diariamente (em milímetros) e a evapotranspiração potencial diária, permitindo assim estimar a manutenção ou não da água nos criadouros e, conseqüentemente, o cumprimento do ciclo do mosquito entre a fase de ovo até o início da fase alada (Tabela 1).

No caso específico da precipitação, existe um desafio maior na aplicação e confiabilidade dessa variável, devido às distribuições espacial e temporal caóticas, dificultando um cálculo preciso por parte do algoritmo, mas, de qualquer forma, este processo segue em constante aprimoramento.

Tabela 1 – Condições meteorológicas de risco consideradas para a proliferação do vetor.

| Risco | Faixa de Temperatura | Precipitação | Período |
|-------------|---|-----------------------------------|--|
| Risco Alto | Prevalência (em horas) de temperaturas mínimas e máximas entre 22°C e 30°C | Superior a 10mm diários | 72 a 120 horas (anterior ou posterior a chuva) |
| Risco Médio | Prevalência (em horas) de temperaturas mínimas entre 20°C e 22°C e máximas entre 30°C e 32°C. | Superior a 20mm diários | 120 a 168 horas (anterior ou posterior a chuva) |
| Risco Baixo | Prevalência (em horas) de temperaturas mínimas entre 18°C e 20°C e máximas entre 32°C e 34°C. | Superior a 30mm diários | Superior a 168 horas (anterior ou posterior a chuva) |
| Sem Risco | Prevalência (em horas) de temperaturas mínimas inferiores a 18°C e máximas superiores a 34°C. | Precipitação contínua ou ausência | - |

Fonte: Roseghini (2013).

Desse modo, os algoritmos empregados no cálculo dos níveis de alerta climático são concebidos a partir de critérios e atributos técnicos, considerados a partir da revisão bibliográfica de trabalhos acadêmicos e estudos, nacionais e internacionais, que embasam o emprego e o peso de determinadas variáveis climáticas na proliferação do vetor da Dengue, o *A. Aegypti*, mais expressivamente a temperatura média e a precipitação horária (ROSEGHINI e FONTÃO, 2022).

Assim, os resultados obtidos no modelo se materializam em mapas de risco climático de dengue divulgados por semanas epidemiológicas, destacando no material cartográfico os 26 municípios paranaenses e os níveis de alerta indicados (alto, médio, baixo ou sem risco), considerando apenas o papel do clima na perspectiva multicausal da doença (SORRE, 1984; BESANCENOT, 2001).

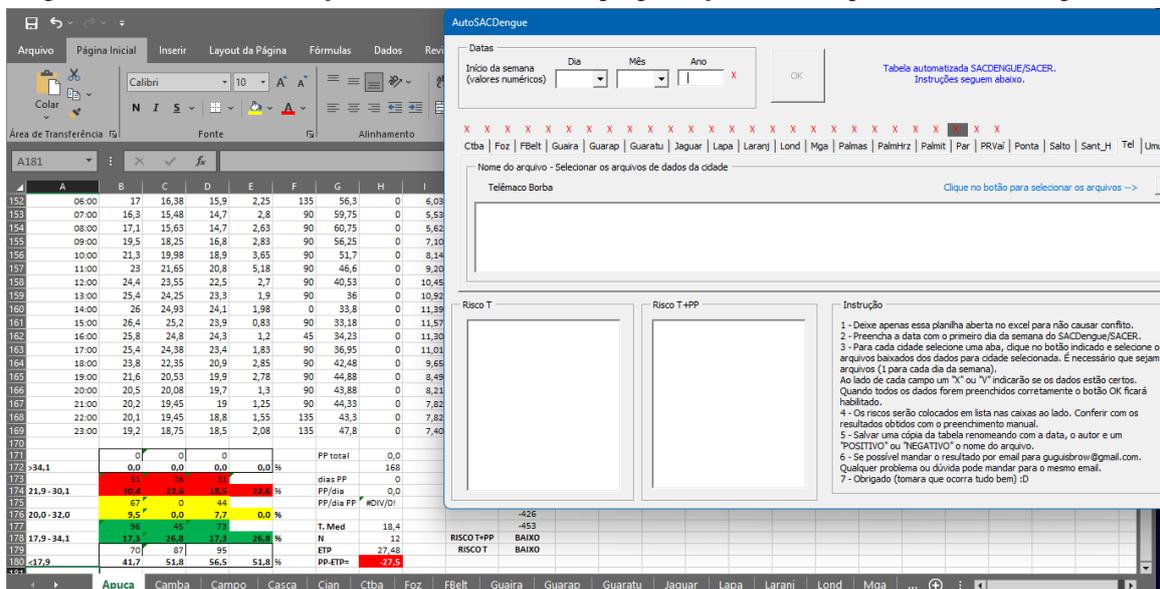
Em uma segunda etapa, o objetivo proposto foi o desenvolvimento e aprimoramento do sistema. Sendo assim, o número de cidades atendidas foi ampliado de 19 para 29 no Paraná, sendo escolhidas considerando a melhor distribuição e representação espacial das estações meteorológicas de coleta de dados, objetivando abranger área ampla de cobertura.

Já a atualização e aperfeiçoamento da linguagem de programação do sistema foram executadas através do desenvolvimento de uma *macro*, para compilação de dados em uma interface IDE (Ambiente Integrado de Desenvolvimento), tornando o processo semi-automatizado e reduzindo o tempo de análise de forma significativa.

Atualmente, o sistema de alerta conta com a *macro* funcional apenas para os municípios participantes, sendo necessária uma alteração no código fonte da *macro* para que seja possível expandir a abrangência para mais cidades. Uma análise detalhada de todo o código fonte e sintaxe foi executado, identificando o potencial de expansão da *macro*, sendo observados os seguintes pontos sobre a aplicação: a linguagem é adequada para produção das análises; é possível a atualização do código fonte; é possível executar o processo de expansão de forma total ou parcial. Com a etapa de análise do código concluída, foi possível constatar também que a linguagem é passível de expansão sem a necessidade de desenvolvimento de nova aplicação.

Os dados horários de temperatura, umidade relativa e chuva por estação meteorológica são inseridos em uma *macro* do Excel (Figura 1), programada em VBA (*Virtual Basic for Application*), gerando um relatório com o nível de alerta de risco climático para cada cidade, baseado nessas informações das últimas 168 horas (sete dias).

Figura 1 - tela de demonstração do sistema rodando a programação em VBA para o cálculo do algoritmo.



Os critérios para essa *macro* são baseados nas condições acumuladas para a proliferação do mosquito *A. aegypti* neste período, conforme os cálculos feitos pelos algoritmos.

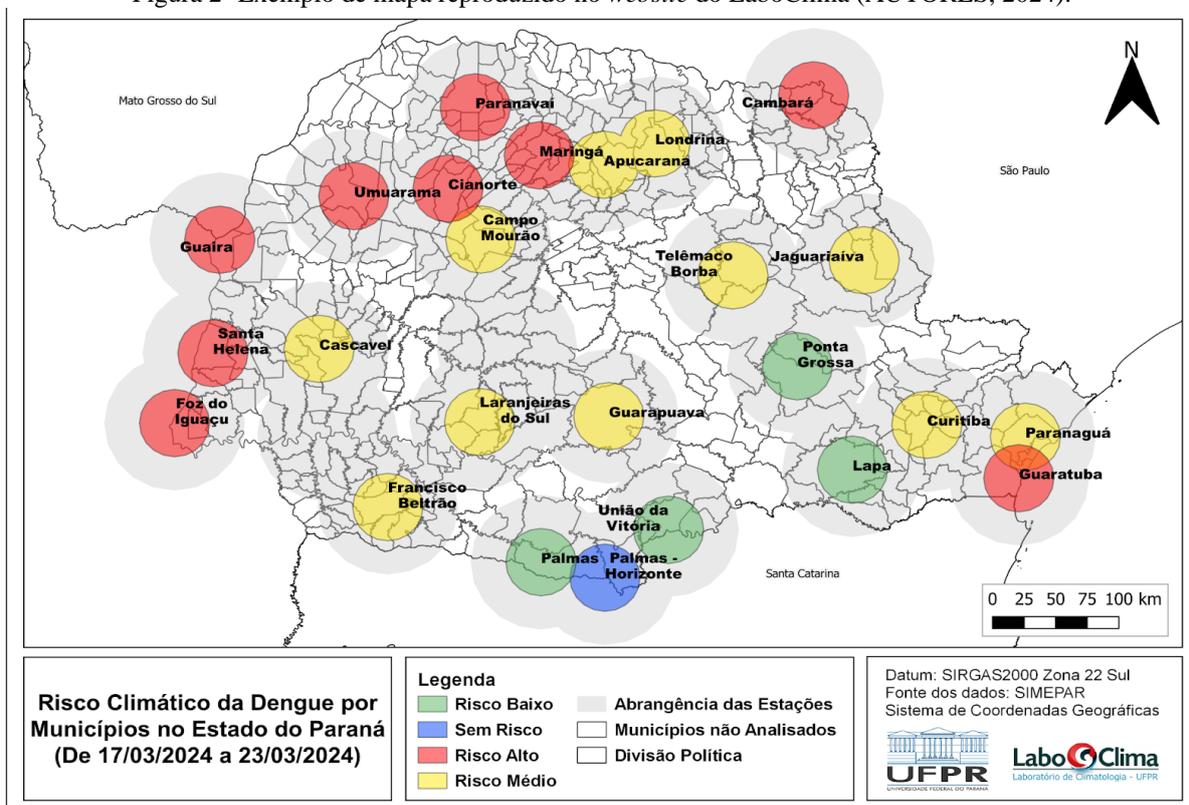
Em relação ao objetivo de expansão para outros estados do Brasil existe uma dificuldade relacionada à forma de aquisição dos dados das estações, que são diferentes no Paraná, sendo necessário o desenvolvimento de uma API (Interface de programação de aplicações), para converter o formato dos dados e automatizar todo o processo.

3. RESULTADOS/ DISCUSSÕES

A partir dos procedimentos desenvolvidos, tornou-se possível a elaboração contínua de alertas de riscos climáticos para a dengue no contexto do estado do Paraná. A divulgação das informações conta com periodicidade semanal, ocorrendo a publicação dos mapas às terças-feiras em uma seção própria no *website* do LaboClima (Figura 2). Esses mapas são replicados pela Secretaria de Estado da Saúde (SESA/PR), que os inclui semanalmente em seus informes epidemiológicos técnicos para a dengue para então definir ações de controle e prevenção epidemiológica, principalmente nas cidades com níveis de risco mais elevados.

Cabe destacar que o projeto desenvolveu aprimoramentos ao longo dos anos, notadamente com a expansão da área de cobertura, que se iniciou com 19 municípios e hoje conta com 26, e, em 2020, a partir da incorporação do SACER - Sistema de Alerta Climático para Enfermidades Respiratórias, visando auxiliar também no acompanhamento da favorabilidade da SARS-CoV-2 – contexto em que esse conjunto de sistema de alertas passou a constituir o chamado Sistema Integrado de Alertas Socioambientais (SISAM). Além disso, está em desenvolvimento a adaptação do código da *macro* em VBA à linguagem *Python*, a fim de automatizar a atualização do sistema de alerta e a criação de um *dashboard*, tornando as informações do sistema mais dinâmicas.

Figura 2 -Exemplo de mapa reproduzido no *website* do LaboClima (AUTORES, 2024).



O padrão observado no exemplo da Figura 2 prevaleceu na maior parte do tempo ao longo de mais de uma década de funcionamento do sistema, predominando nas regiões norte, noroeste, oeste e litoral do Paraná os níveis de alerta mais elevados (Risco Alto) e nas áreas mais ao sul e com maior altitude os riscos mais baixos, coincidindo com as áreas mais frias do Estado.

4. CONCLUSÃO/ CONSIDERAÇÕES FINAIS

A concretização desse projeto ressalta a relevância e as contribuições das produções acadêmicas no campo das relações entre dengue e ambiente – especificamente do clima, por ora, nesse trabalho –, assim como da realização de parcerias entre universidades e outros órgãos, sejam aqueles de pesquisa ou mesmo governamentais, na produção e compartilhamento do conhecimento científico.

É importante que a divulgação de informações relativas à esfera da saúde pública aconteça por canais com grande e rápida capacidade de difusão, como também com uma linguagem acessível para o entendimento da população como um todo, tornando possível, dessa forma, sua apropriação e instrumentalização para o desenvolvimento de políticas públicas de combate, nesse caso, à dengue.

Apesar de se propor como um alerta de caráter “socioambiental”, as variáveis sociais ainda não foram incluídas nos cálculos de risco e constituem uma limitação do projeto que é alvo de planejamento para aprimoramentos futuros. A melhoria da *macro* também é outro aspecto a ser desenvolvido, com foco em automatizar ainda mais o processo de inserção dos dados para o cálculo. Além disso, também estão sendo investigadas possibilidades para transformar a interface da página (bem como a forma) de divulgação dos alertas em um instrumento mais interativo.

Cabe destacar, por fim, que, com o presente trabalho, viabiliza-se o contato dessa proposta de ferramenta a diferentes instituições e sujeitos envolvidos e/ou interessados no tema, possibilitando a ocorrência de diálogos e trocas na qual o resultado pode ser a expansão do sistema com sua aplicação em outras unidades federativas. O LaboClima está aberto a esse contato e disposto a realizar treinamentos para os interessados.

5. REFERÊNCIAS

BANU, S.; CHOUDHURY, M. A.; TONG, S. Dengue: Emergence, Determinants and Climate Change. In: LOUKAS, A. (Ed.). **Neglected Tropical Diseases – Oceania**. Suíça: Springer, 2016. P. 237-248.

BARATA, E. A. M.; COSTA, A. I. P.; CHIARAVALLLOTI-NETO, F.; GLASSER, C. M.; BARATA, J. M. S.; NATAL, D. Populações de *Aedes aegypti* (L.) em área endêmica de dengue, Sudeste do Brasil. **Rev. Saúde Pública**, São Paulo, v.35, n.3, p.237-242. 2001. <https://doi.org/10.1590/S0034-89102001000300004>

BESANCENOT, J-P. **Climat et santé** (Medicine et santé). Paris: PUF, 2001.

BESERRA, E. B; CASTRO JR, F.P. de; SANTOS, J.W. dos; SANTOS, T. da S.; FERNANDES, C. R. M. Biologia e exigências térmicas de *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) provenientes de quatro regiões bioclimáticas da Paraíba. **Neotrop entomol**, v. 35, n. 6, p. 853–60, 2021. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2006000600021>.

BEZERRA, J. M. T.; SOUSA, S. M.; TAUIL P. L.; CARNEIRO M.; BARBOSA D. S. Entry of dengue virus serotypes and their geographic distribution in Brazilian federative units: a

systematic review. **Rev Bras Epidemiologia.**, n. 24, p. 1-18, 2021. <https://doi.org/10.1590/1980-549720210020>.

CHRISTOPHERS, S. R. **Aedes Aegypti**: The yellow fever mosquito. Its life history, bionomics and structure. Cambridge University Press, 1960.

CROVELLO, T. J.; HACKER, C. S. Evolutionary strategies in life table characteristics among feral and urban strains of *Aedes aegypti* (L.). **Evolution**, v. 26, n. 2. p.185-96, 1972. <https://doi.org/10.2307/2407030>.

EPSTEIN, P. R. *et al.* Biological and physical signs of climate change: focus on mosquito-borne diseases. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, n. 3, p. 409-418, 1998. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1998\)079%3C0409:BAPSOC%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1998)079%3C0409:BAPSOC%3E2.0.CO;2).

GUIMARÃES, R. B. Geografia e Saúde. In: **Saúde**: Fundamentos de Geografia Humana. UNESP, São Paulo (SP) p. 17-39, 2013.

LAURELL, A. C. A saúde-doença como processo social. **Rev Latino Am Salud**, v. 2, pp. 7-25, 1982.

LOBO CLIMA – SACDENGUE – **Sistema de Alerta Climático de Dengue**. Disponível em: <https://terra.ufpr.br/laboclima/sacdengue/> Acesso em: outubro de 2024.

LÖWY, I. **Vírus, Mosquitos e Modernidade**: A Febre Amarela no Brasil entre Ciência e Política. Coleção História e Saúde, 20 ed. Editora Fiocruz. Rio de Janeiro (RJ), 427 p. 2005.

NATAL, D. Bioecologia do *Aedes aegypti*. **Biológico**, São Paulo, v. 64, n. 2, p. 205-207, 2002.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). Disponível em: <https://www.who.int/>. Acesso em: 02 abr., 2024.

REITER, P. Oviposition and dispersion of *Aedes aegypti* in a urban environment. **Bulletin de la Société de Pathologie Exotique**, v. 89, n. 2, p.120-122. 1996.

RODRIGUES, F. L.; CAVINATTO, V. M. **Lixo. De onde vem? Para onde vai?**. Coleção Desafios. Editora Moderna, 79 p. 1997.

ROSEGHINI, W. F. F.; FONTÃO, P. A. B. Os sistemas de alerta de risco climático de enfermidades SACDENGUE e SACER: uma proposta metodológica. In: QUEIROZ, E. D.; SANTOS, C.; CARDOSO, C. (Org.). **Diferentes olhares em Geografia**: o ensino de Geografia Física. Rio de Janeiro - RJ: Autografia, v. 1, p. 220-230, 2022.

ROSEGHINI, W. F. F. Clima urbano e dengue no centro-sudoeste do Brasil. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-graduação em Geografia, 2013.

SILVA, L. J da.; ANGERAMI, R. N. **Viroses Emergentes no Brasil**. Coleção Temas em Saúde, 22 ed. Editora Fiocruz. Rio de Janeiro (RJ). 2008. 136 p.

SORRE, M. A adaptação ao meio climático e biossocial - geografia psicológica. In: MEGALE, J. F (Org.). **Max Sorre**. São Paulo: Ática, 1984.

TAUIL, P. L. Urbanização e ecologia do dengue. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 17, p. 99-102, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2001000700018>.

VALLE, D.; AGUIAR, R.; PIMENTA, D. N.; FERREIRA, V. **Aedes de A a Z**. Coleção Temas em Saúde, 23 ed. Editora Fiocruz. Rio de Janeiro (RJ), 172 p. 2021.

VALLE, D.; PIMENTA, D. N.; CUNHA, R. V. **Dengue: Teorias e Práticas**. FIOCRUZ, Rio de Janeiro (RJ). 450 p. 2015. Disponível em: <<https://books.scielo.org/id/58zcs> >. Acesso em: 16 ago, 2023.

YANG, H. M.; MACORIS, M. L. G.; GALVANI, K. C.; ANDRIGHETTI, M. T. M.; WANDERLEY, D. M. V. Assessing the effects of temperature on the population of *Aedes aegypti*, the vector of dengue. **Epidemiology & Infection**. v. 137. n 8. p.1188-1202. 2009. <https://doi.org/10.1017/s0950268809002040>.



O conteúdo deste trabalho pode ser usado sob os termos da licença Creative Commons Attribution 4.0. Qualquer outra distribuição deste trabalho deve manter a atribuição ao(s) autor(es) e o título do trabalho, citação da revista e DOI.