

A Incidência da Dengue Explicada por Variáveis Climáticas em Municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro

L. L. XAVIER^{1*}, J. F. M. PESSANHA², N. A. HONÓRIO³,
M. S. RIBEIRO⁴, D. M. MOREIRA⁵ e P. C. PEITER⁶

Recebido em 19 de maio de 2020 / Aceito em 10 de fevereiro de 2025

RESUMO. O aumento das notificações por dengue contribui para a sobrecarga dos sistemas de saúde pública subtraindo recursos públicos que poderiam ser empregados no combate à pobreza e à melhoria da distribuição de renda da população. Embora a dengue seja uma doença veiculada por vetores, observa-se que populações residentes em áreas com diferentes padrões urbanísticos, econômicos e demográficos são impactadas diferenciadamente por essa arbovirose. Compreender como ocorreu nos últimos anos a evolução temporal da dengue pode proporcionar aos gestores em saúde um nível mais detalhado da dinâmica de propagação da dengue e dos seus vetores, visando auxiliar nas tomadas de decisões e subsidiar o controle local em áreas endêmicas. Para alcançar este objetivo propõe-se o ajuste de modelos para análise e previsão de séries temporais. O presente trabalho descreve um estudo realizado para os municípios de Guapimirim e Magé, localizados na região metropolitana do Rio de Janeiro. A modelagem de séries temporais foi fundamentada em modelos ARMAX, que possibilitam estimar a relação entre a incidência de dengue e as variáveis climáticas.

Palavras-chave: Epidemiologia, Análise Multivariada, Series Temporais, Sensoriamento Remoto.

*Autor correspondente: Leandro Layter Xavier – E-mail: leandromedicinatropical@gmail.com

¹Fundação de Apoio à Pesquisa, Ensino e Assistência à Escola de Medicina e Cirurgia do Rio de Janeiro - FUNRIO, Hospital Universitário Gaffrée e Guinle, da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, UNIRIO, Rio de Janeiro, RJ, Brasil – E-mail: leandromedicinatropical@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-9805-9681>

²Instituto de Matemática e Estatística (IME-UERJ), Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil – E-mail: professorjfmfp@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0002-7134-2388>

³Laboratório das Interações Virus-Hospedeiros (LIVH), Instituto Oswaldo Cruz, Fiocruz, Rio de Janeiro, RJ, Brasil – e-mail: nildimarhonorio1@ioc.fiocruz.br <https://orcid.org/0000-0002-2535-3844>

⁴Subsecretaria de Vigilância e Atenção Primária à Saúde (SUBVAPS), Secretaria Estadual de Saúde do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil – E-mail: mario.ribeiro@saude.rj.gov.br <https://orcid.org/0000-0003-3854-548X>

⁵Serviço Geológico do Brasil (SGB), Rio de Janeiro, RJ, Brasil – E-mail: daniel.moreira@sgb.gov.br <https://orcid.org/0000-0002-8915-094X>

⁶Laboratório de Doenças Parasitárias, Instituto Oswaldo Cruz, Fiocruz, Rio de Janeiro, RJ, Brasil – E-mail: paulopeiter@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-8383-4542>

1 INTRODUÇÃO

Doenças transmitidas por artrópodes, como dengue, febre amarela, mayaro, chikungunya, Zika, febre do Nilo representam importantes doenças infecciosas emergentes e reemergentes, consideradas graves problemas de saúde pública no mundo, impondo grandes desafios para as vigilâncias epidemiológica, entomológica e virológica. A dengue e a febre amarela chegaram ao Brasil durante o período colonial vindo da África pelo tráfico negreiro [7, 20]. Os arbovírus (Arthropod-borne virus) mayaro, chikungunya, Zika, febre do Nilo foram registrados mais recentemente no Brasil, tendo os primeiros casos autóctones respectivamente nas cidades: Belém do Pará em 1955, Oiapoque no Amapá em 2014, Camaçari na Bahia em 2014, Aroeiras do Itaim no Piauí em 2014 [1, 3, 15, 19]. A entrada desses quatro novos arbovírus no Brasil, país já endêmico para a Dengue, representa um grande desafio para a saúde pública, pois grande parte da população é suscetível às infecções [13].

A Organização Mundial da Saúde (OMS) caracteriza a dengue como um dos principais problemas de saúde pública do mundo, com uma estimativa de 50 a 100 milhões de pessoas infectadas anualmente, resultando em aproximadamente 250.000 a 500.000 casos de febre hemorrágica e 24.000 mortes/ano em 100 países (com a exceção da Europa) [9, 10, 22]. Além disso, os custos totais, totalizando despesas diretas e indiretas resultantes desta doença em todo o mundo, atingiram 8,9 bilhões de dólares anualmente [16].

Em 2019, foram notificados 1.544.987 casos prováveis (taxa de incidência de 735,2 casos por 100 mil habitantes) de dengue no país. Em relação ao número de óbitos foram confirmados 782 por dengue no país. Analisando a taxa de letalidade por dengue por faixa etária verifica-se o grupo dos idosos como mais vulnerável. O grupo a partir dos 60 anos, e dentro dessa categoria, os mais afetados foram aqueles com 80 anos ou mais. O risco relativo (RR) de morrer por dengue na faixa etária de 80 anos ou mais foi 129,7 vezes maior que na faixa etária de 1 a 4 anos. A dengue é uma doença emergente, cuja incidência em humanos aumentou durante as últimas décadas. Evidentemente, essa importante arbovirose contribui ainda mais para sobrecarregar o sistema de saúde pública brasileiro [4].

Em 2024, ocorreu a maior epidemia de dengue de todos os tempos no Brasil, quando foram notificados 6.610.748 casos prováveis de dengue, taxa de incidência de 3110 casos por 100 mil habitantes, e 6199 óbitos. O número real de óbitos pode ser ainda maior, pois existem 523 óbitos em investigação. O ano anterior, 2023, foi também epidêmico, pois houve 1.649.146 casos de dengue notificados, taxa de incidência de 773 casos por 100 mil habitantes, e 1179 óbitos. Assim, no ano de 2024, houve um aumento de 401% no total de casos de dengue e de 526% no total de óbitos, em relação ao ano anterior [6] e surpreendentemente superior ao número de óbitos por COVID-19 pela primeira vez na história [5].

O quantitativo real dos casos de dengue e óbitos por dengue notificados no SINAN (Sistema de Informação de Agravos de Notificação) pode ser ainda maior devido ao problema da subnotificação. No período de 2009 a 2011, a Fiocruz realizou um estudo em uma grande emergência de Salvador, nesse estudo constatou-se que de 20 pacientes diagnosticados com

dengue apenas 1 caso foi notificado ao SINAN. Essa pesquisa mostrou que a situação da subnotificação é maior ainda nos meses de baixa incidência da doença. Nesse período de baixa transmissão da dengue, apenas 1 em cada 40 casos identificados foram notificados. Por outro lado, entre os pacientes relatados como dengue, 31,2% não possuíam a doença; esse percentual atingiu 61,5% em períodos de baixa transmissão. Assim, o estudo estimou que, no total existam 12 casos de dengue por caso notificado às autoridades de saúde [2].

A dengue é considerada a mais importante arbovirose transmitida por mosquitos ao homem, tendo-se em conta tanto a sua elevada morbidade e as formas graves que podem levar ao óbito dos pacientes [8,9]. Diante disso, a doença tem um efeito grave sobre os sistemas de saúde dada a sobrecarga a que são submetidos a cada grande epidemia e que, em geral, ocorre em países onde os recursos para a saúde pública são escassos. Trata-se de uma doença infecciosa aguda causada por vírus (DENV) de genoma RNA, pertencente à família *Flaviviridae* e ao gênero *Flavivirus*. Até o momento, são conhecidos quatro sorotipos antigenicamente distintos: DENV-1, DENV-2, DENV-3 e DENV-4.

Em todo mundo, crescentemente os órgãos responsáveis pela saúde pública têm recorrido à utilização de modelos matemáticos como instrumentos auxiliares para controle e avaliação de propagação de epidemias. Para citar um exemplo, no Brasil na Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) há inclusive o Programa de Computação Científica tendo o propósito de desenvolver métodos matemáticos, computacionais e estatísticos de aplicabilidade ao campo da Saúde Humana, em especial Saúde Pública e Epidemiologia. Foi fundado há 25 anos, e pela característica da Fio-cruz, o enfoque é maior em dinâmica de doenças infecciosas e tropicais, em particular doenças transmitidas por vetores.

Da mesma forma, pesquisadores de universidades nacionais têm se dedicado a estudar e equacionar a problemática da dengue no Brasil adotando diferentes abordagens, tais como, através da modelagem da dinâmica e da interação da população humana e de vetores [14, 21, 23]. O presente trabalho está dentro dessa temática, mas fazendo uso de um modelo estatístico para analisar séries temporais de taxas de incidência de dengue em determinado espaço geográfico em função de variáveis climáticas.

Ademais, o trabalho demonstra a possibilidade de utilização de dados de informações climáticas obtidos por sensoriamento remoto, obtidos através de satélites artificiais, que são disponibilizados por diversas fontes. Essa possibilidade de dados climáticos oferece alta acurácia e imediata disponibilidade, tendo a propriedade de ausência de falhas, *missed values*, cuja presença complica demais a resolução dos modelos.

Finalmente, os dados obtidos por satélite são absolutamente gratuitos, que combinado às viabilidades técnica e computacional, acima destacadas, permitem o uso de modelos estatísticos similares nos mais recônditos municípios do Brasil.

O objetivo principal deste trabalho consiste na modelagem da relação entre a incidência da dengue e as variáveis climáticas, tendo em vista a criação de uma ferramenta auxiliar para a vigilância entomológica no controle de vetores. A metodologia adotada na construção do modelo

baseia-se em modelos ARMAX (Autoregressive Moving Average with Exogeneous Inputs), uma extensão da abordagem ARMA que permite a inclusão de variáveis exógenas, i.e., as variáveis climáticas no contexto deste trabalho.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo. A pesquisa foi desenvolvida nas áreas urbanas dos municípios de Magé e Guapimirim, situados na região metropolitana do Rio de Janeiro, vide Fig. 1. O município de Magé ($22^{\circ}39'10''$, $43^{\circ}02'26''W$), apresenta uma área total de $388,496 \text{ Km}^2$ e situa-se a uma distância de 33 km da cidade do Rio de Janeiro. Magé registrou uma população de 227.322 habitantes no Censo Demográfico de 2010 [12]. Já o município de Guapimirim ($22^{\circ}32'14''S$, $42^{\circ}58'55''W$) apresenta uma área total de $360,766 \text{ km}^2$ e situa-se a uma distância de 60 km da cidade do Rio de Janeiro. Guapimirim registrou uma população estimada em 51.483 habitantes no Censo Demográfico de 2010 [12].

Dados epidemiológicos. Os dados analisados foram obtidos da Secretaria Estadual de Saúde do Estado do Rio de Janeiro. Foram selecionados os casos notificados de dengue de residentes do município de Magé e Guapimirim no período de julho de 2002 até junho 2016. Os casos notificados foram confirmados mediante critério laboratorial ou clínico-epidemiológico, conforme orientações do Ministério da Saúde.

Variáveis climáticas. Os dados de precipitação analisados foram fornecidos pelas Divisões de Hidrologia da UFRJ. Os dados de precipitação foram obtidos do satélite TRMM (Tropical Rain-fall Measuring Mission), fruto de uma missão da NASA (National Aeronautics and Space Administration) com a JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency). Atualmente é crescente a confiabilidade nos dados de satélite, uma vez que propiciam séries mais longas e consistentes de dados para as diversas regiões do planeta, com detalhamento temporal significativo com um intervalo de tempo de 3 horas.

3 METODOLOGIA

O ciclo de vida do mosquito transmissor da dengue é influenciado por variáveis meteorológicas, sobretudo o nível de pluviosidade [17, 18] e a temperatura [21]. Assim, para modelar a dinâmica temporal da taxa de incidência de casos de dengue (variável dependente y), considerando o efeito de fatores meteorológicos (variáveis exógenas x), optou-se por especificar o modelo ARMAX, a família de modelos autoregressivos de médias móveis com variáveis exógenas [11], e que em sua forma mais geral assume a expressão:

$$y_t = C + \sum_{i=1}^p \phi_i (y_{t-i}) + \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-i} + \varepsilon_t + \sum_{i=1}^k \beta_i X_{i,t}, \quad (3.1)$$

em que ε_t é um termo aleatório não observável normalmente distribuído, y_t representa o valor no mês t do logaritmo da taxa de incidência de casos de dengue por 100.000 habitantes e X_t representa as variáveis climáticas, por exemplo, precipitação e temperatura, no mês t .

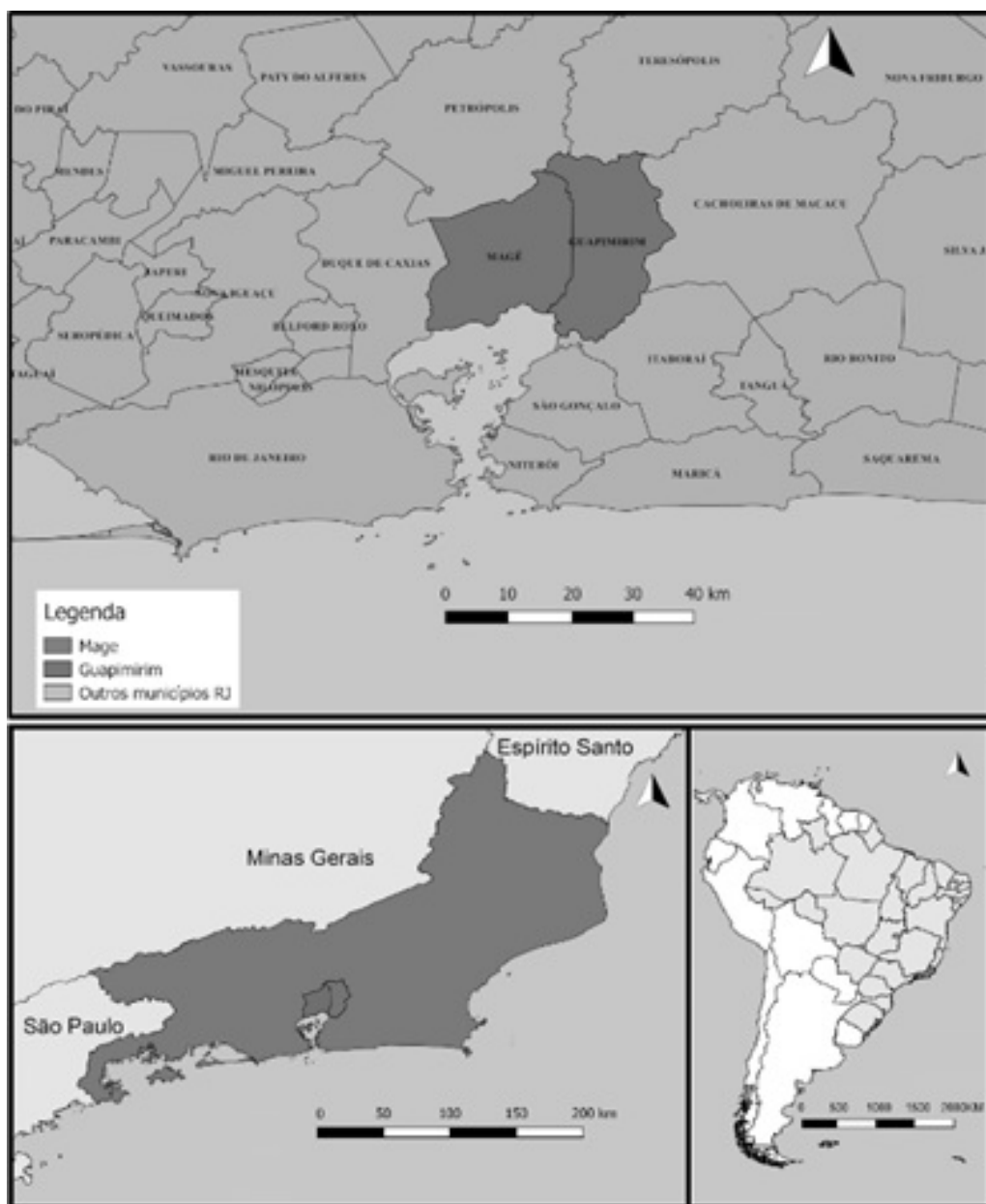


Figura 1: Mapas de localização dos municípios de Guapimirim e Magé.

Vale destacar que a equação do modelo ARMAX em (3.1) tem um termo auto-regressivo de ordem p e um termo de média móvel de ordem q , componentes de um modelo ARMA [11], mais um termo de regressão que capta o efeito de r variáveis exógenas na dinâmica da taxa de incidência. Adicionalmente, o intercepto C e os coeficientes ϕ , θ , β são parâmetros a serem

estimados pelo método da máxima verossimilhança condicional aplicado aos dados da séries temporais de y e $X_1, \dots, X_r$.

A partir das taxas de incidência mensal de casos de dengue por 100 mil habitantes nos municípios de Guapimirim e Magé, juntamente com as respectivas séries mensais de pluviosidade (*Pluv*) e temperatura máxima (*TempMax*) foram ajustados modelos ARMAX para cada município. A especificação e estimativa dos coeficientes dos melhores modelos ARMAX em cada município foi realizada com a ajuda do software Gretl (<http://gretl.sourceforge.net/>). Na seleção do melhor modelo buscou-se minimizar o critério de informação de Akaike [11].

Os coeficientes foram estimados por meio da máxima verossimilhança condicional aplicada em uma amostra composta por observações mensais de julho de 2002 até dezembro de 2015. Os dados do ano de 2016 não foram considerados nos ajustes dos modelos, uma vez que formaram os conjuntos *outsample* utilizados na avaliação da capacidade preditiva dos modelos. Conforme as métricas RMSE (3.2), MRPE (3.3) e U-Theil (3.4), essa avaliação é feita por meio da comparação dos N valores reais das taxas de incidência y_t na amostra *outsample* com os correspondentes valores estimados $\hat{y}_t$ obtidos pela equação (3.1).

Root Mean Squared Error

$$RMSE = \left[\sum_{t=1}^N (y_t - \hat{y}_t)^2 / N \right]^{1/2} \quad (3.2)$$

Mean Relative Percentage Error

$$MRPE = \left(\sum_{t=1}^N (|y_t - \hat{y}_t| / y_t) / N \right) 100\% \quad (3.3)$$

U-Theil

$$U - Theil = \frac{\left[\sum_{t=1}^{N-1} ((y_{t+1} - \hat{y}_{t+1}) / y_t)^2 \right]^{1/2}}{\left[\sum_{t=1}^{N-1} ((y_{t+1} - y_t) / y_t)^2 \right]^{1/2}} \quad (3.4)$$

4 RESULTADOS

A seguir apresentam-se os modelos ARMAX ajustados para os municípios de Guapimirim (4.1) e Magé (4.2):

$$\log(y_t) = 0.1468 + 0.7350 \log(y_{t-1}) + 0.0028 Pluv_{t-1} + 0.0020 Pluv_{t-2} - 0.0014 Pluv_{t-3} \quad (4.1)$$

$$\log(y_t) = -1.8917 + 0.8008 \log(y_{t-1}) + 0.0017 \text{Pluv}_{t-1} + 0.0547 \text{TempMax}_{t-1} \quad (4.2)$$

Vale ressaltar que todos os coeficientes de regressão nas equações (4.1) e (4.2) são estatisticamente diferentes de zero aos níveis de significância usuais de 5% e 10%, conforme indicado nas Tabelas 1 e 2. Os resultados para o município de Guapimirim em (4.1) mostram que a taxa de incidência de dengue depende da taxa de incidência no mês anterior e da pluviosidade nos três meses imediatamente anteriores ao mês de previsão. No caso de Magé, os resultados na equação (4.2) mostram que a taxa de incidência de dengue depende da taxa de incidência, da pluviosidade e da temperatura máxima no mês anterior.

Tabela 1: Resultados do modelo ajustado para a taxa de incidência em Guapimirim.

	Coefficientes	Erro Padrão	P-value	Desempenho <i>outsample</i>
Constante	0.1468	0.1281	0.2445	MRPE=20.64% RMSE=0.9117 U-Theil=0.69
$\log(y_{t-1})$	0.7350	0.0538	1.82E-42	
Pluv_{t-1}	0.0028	0.0008	0.0005	
Pluv_{t-2}	0.0020	0.0009	0.0321	
Pluv_{t-3}	-0.0014	0.0009	0.0976	

Tabela 2: Resultados do modelo ajustado para a taxa de incidência em Magé.

	Coefficientes	Erro Padrão	P-value	Desempenho <i>outsample</i>
Constante	-1.8917	0.6289	0.0026	MRPE=19,82% RMSE=1.1589 U-Theil=0.51
$\log(y_{t-1})$	0.8008	0.0427	1.21E-78	
Pluv_{t-1}	0.0017	0.0009	0.0423	
TempMax_{t-1}	0.0547	0.0167	0.0010	

A Figura 2 mostra as estimativas, até dezembro de 2015, e previsões para o período *outsample*, de janeiro a junho de 2016, para o número de casos, obtidas com base nos modelos ajustados e estimativas populacionais para 2016, vis-à-vis os valores observados. Conforme ilustrado na Figura 2, tanto as estimativas para os doze anos iniciais da série como as previsões para os seis meses de 2016 são aderentes aos valores observados, indicando a boa qualidade do ajuste. Todavia, os valores de pico, que são evidentemente mais críticos para efeito de controle e combate a dengue, estão sendo previstos com um pequeno atraso temporal. Apesar desta deficiência, os resultados obtidos mostram que a abordagem proposta permite formular modelos com potencial para reproduzir a dinâmica temporal da dengue e descrever a sua relação com as variáveis meteorológicas, em especial, a pluviosidade e a temperatura.

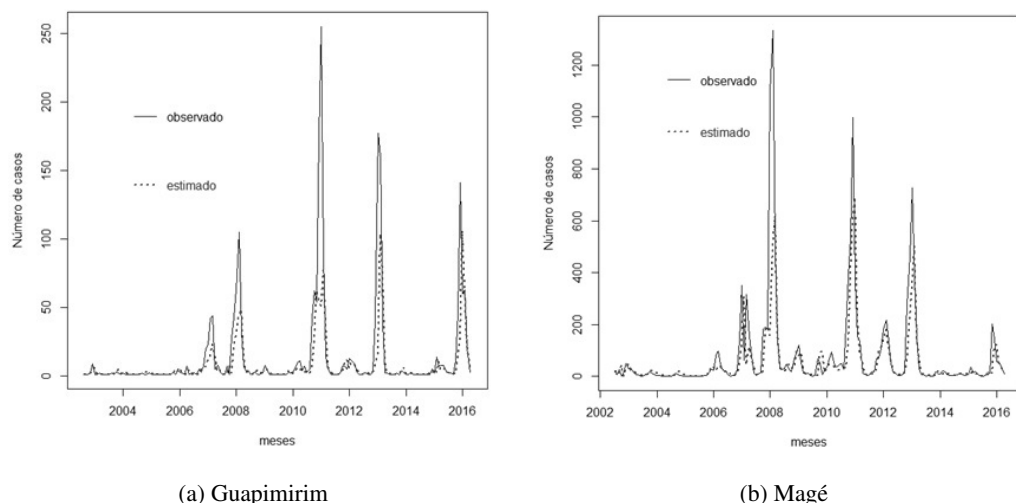


Figura 2: Estimativas/Previsões e valores observados do número de casos de dengue.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho estuda o comportamento da taxa de incidência da dengue em dois municípios da Baixada Fluminense em função de variáveis climáticas através de utilização da tradicional técnica de análise de regressão.

Através de experimentação empírica, chegou-se a diferentes formulações para os dois municípios. Para Guapimirim, situado em área de transição entre a Baixada e a Serra do Mar, mais chuvosa, a taxa de incidência teve como variáveis explicativas a taxa de incidência de dengue do mês anterior e os valores da pluviosidade dos três meses anteriores. Para Magé, município mais quente, a taxa de incidência teve como variáveis explicativas a taxa de incidência de dengue do mês anterior e a pluviosidade e a temperatura máxima do mês anterior.

Os resultados obtidos em ambos os casos oferecem um bom ajuste, reproduzindo a série de incidência da dengue com muito boa precisão, pois os valores das taxas de incidência estimados pelo ajuste de um modelo de regressão foram muito próximos aos valores observados em ambas cidades.

Dessa forma, o trabalho contém o importante caráter didático de mostrar a possibilidade da construção de modelos estatísticos simples, baseados em técnicas tradicionais amplamente conhecidas, que podem ser usados pela vigilância entomológica como ferramenta adicional para o controle de vetores.

Ademais, o trabalho descreve uma alternativa de implementação desses modelos com viabilidades técnica, computacional e financeira, pois alimentados por dados obtidos de satélites artificiais, com predicados de precisão, de regularidade, de disponibilidade imediata e de gratuidade. Afinal,

o trabalho mostra as amplas possibilidades de desenvolvimento e de implementação de modelos similares nos mais recônditos municípios do território brasileiro.

ABSTRACT. The increase in notifications on the incidence of dengue testify to the overload of the public health systems and calls attention to the improper use of public resources that could be used to fight poverty and the consequent income inequality. Although dengue is a vector-borne disease, it has been observed that populations living in areas with different urban, economic and demographic patterns are impacted differently by this arbovirus. Understanding how the temporal evolution of dengue occurred in recent years can provide healthcare officials with a more detailed knowledge of the dynamics of the spread of dengue and its vectors, thus assisting the decision-making process and orienting local authorities in organizing controls in endemic areas. To achieve this objective, some time series models for analysis and forecasting were proposed and adjusted to the field data. This work describes a study carried out for the municipalities of Guapimirim and Magé, located in the metropolitan area of Rio de Janeiro. The modelling of the time series was based on AR-MAX models, which allow to estimate the relationship between the incidence of dengue and climatic variables.

Keywords: Epidemiology, Multivariate Analysis, Time Series, Remote sensing.

REFERÊNCIAS

- [1] G.S. Campos, B.A.C. Andrade & S.I. Sardi. Zika vírus outbreak, Bahia, Brazil. *Emerging Infectious Diseases*, **21**(10) (2015), 1885–1886.
- [2] M.M.O. Campos, M.S. Rodrigues, I.A.D. Paploski, M. Kikuti, A.M. Kasper, S.J. Cruz, T.L. Queiroz, A.S. Tavares, P.M. Santana, J.M.G. Araújo, A.I. Ko, M.G. Reis & G.S. Ribeiro. Accuracy of Dengue Reporting by National Surveillance System, Brazil. *Emerging Infectious Diseases*, **22**(2) (2016), 336–339.
- [3] O.R. Causey, O. Maroja & M.C. Azevedo. Epidemia pelo vírus Mayaro no Estado do Pará. *Revista do Serviço Especial de Saúde Pública*, **10**(1) (1958), 152–154.
- [4] M. da Saúde. Monitoramento dos casos de arboviroses urbanas transmitidas pelo *Aedes* (dengue, chikungunya e Zika), Semanas Epidemiológicas 01 a 52. *Boletim Epidemiológico* 5, **51**(2) (2020), 1–21.
- [5] M. da Saúde. Ministério da Saúde - COVID-19 no Brasil (2024). URL https://infoms.saude.gov.br/extensions/covid-19_html/covid-19_html.html.
- [6] M. da Saúde. Painel de Monitoramento das Arboviroses. Atualização de Casos de Arboviroses (2024). URL <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/a/aedes-aegypti/monitoramento-das-arboviroses>.
- [7] O. Franca. “História da Febre Amarela no Brasil-Rio de Janeiro”, volume Único (1969), 1-212 p.
- [8] D.J. Gubler. Dengue and dengue hemorrhagic fever. *Clinical Microbiology Reviews*, **11**(3) (1998), 480–496.

- [9] P. Gurugama, P. Garg, J. Perera, A. Wijewickrama & S.L. Seneviratne. Dengue viral infections. *India Journal of Dermatology*, **55**(1) (2010), 68–78.
- [10] S.B. Halstead. Dengue Virus-Mosquito Interactions. *Scott B. Halstead*, **53**(1) (2008), 273–291.
- [11] J.D. Hamilton. “Time Series Analysis”. Princeton University Press (1994).
- [12] IBGE. Censo Demográfico IBGE 2010. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*, (1) (2010), 1–378.
- [13] T.N. Lima-Camara. Emerging arboviruses and public health challenges in Brazil. *Revista de Saúde Pública*, **102**(13) (2016), 1–10.
- [14] A. Molter, L.R. Piovesan, R. Pergher & V.M. C. Controle ótimo em epidemias de dengue. *Trends in Computation and Applied Mathematics*, **17**(2) (2016), 129–142.
- [15] M.T. Nunes, N.R. Farias, J.M. Vasconcelos, N. Golding, M.N.G. Kroemer, L.F. Oliveira, R.S.S. Azevedo, D.E.A. Silva, E.V.P. Silva, S.P. Silva, V.L. Carvalho, G.E. Coelho, A.C.R. Cruz, S.G. Rodrigues, J.L.C. Vianez, B.T.D. Nunes, R.B. Tesh, H.S. I, O.G. Pybus & P.F.C. Vasconcelos. Emergence and potential for spread of Chikungunya virus in Brazil. *BMC Medicine*, **11**(3) (2015), 480–496.
- [16] D. Shepard, E. Undurraga, Y. Halasa & J. Stanaway. The global economic burden of dengue. *The Lancet Infectious Diseases*, **16**(8) (2016), 935–941.
- [17] L.S.B. Silva, R.T.N. Cardoso, J.L.A. Fernandes, C.A. Silva & A.E. Eiras. Modelo entomológico determinístico sob efeito da pluviosidade para o *Aedes aegypti* e o *Aedes albopictus*. *Trends in Computation and Applied Mathematics*, **19**(2) (2018), 289–303.
- [18] L.S.B. Silva, A.S.V. Vasconcelos, A.L. Sanches, R.T.N. Cardoso, C.A. Fernandes & A.E. Eiras. Otimização mono-objetivo o controle do mosquito *Aedes aegypti* por meio de um modelo de duas populações com influência de precipitação. *Trends in Computation and Applied Mathematics*, **20**(1) (2019), 279–290.
- [19] M.G. Teixeira, A.M.S. Andrade, M.d.C.N. Costa, J.S.M. Castro, F.L.S. Oliveira, C.S.B. Goes, M.M. Maia, E.B. Santana, B.T.B. Nunes & P.F.C. Vasconcelos. East/Central/South African Genotype Chikungunya Virus, Brazil, 2014. *Emerging Infectious Diseases*, **21**(5) (2015), 906–908.
- [20] M.G. Teixeira, M.L. Barreto & Z. Guerra. Fundação Nacional de Saúde. Evolução temporal das doenças de notificações compulsória no Brasil 1980-1998. Boletim Eletrônico Epidemiologia Edição Especial. *Informe Epidemiológico do SUS*, **8**(4) (1999), 5–33.
- [21] T.N. Vilches & C.P. Ferreira. Um Modelo para a Dengue com Influência Sazonal. *Trends in Computation and Applied Mathematics*, **14**(3) (2013), 279–290.
- [22] WHO. “Dengue haemorrhagic fever Diagnosis, treatment, prevention and control”. World Health Organization, Genebra (1997).
- [23] L.L. Xavier, N.R. Honório, J. Pessanha & P.P. C. Analysis of climate factors and dengue incidence in the metropolitan region of Rio de Janeiro, Brazil. *Plos One*, **16**(5) (2021), 1–15.

How to cite

L. L. Xavier ,J. F. M. Pessanha ,N. A. Honório, M. S. Ribeiro, D. M. Moreira & P. C. Peiter. A incidência da dengue explicada por variáveis climáticas em municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. *Trends in Computational and Applied Mathematics*, **26**(2025), e01476. doi: 10.5540/tcam.2025.026.e01476.

