

Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics

Análise da Relação Causal entre Variáveis Meteorológicas (Pluviosidade e Temperatura) e População de Fêmeas *Aedes aegypti* em Lavras, MG - Brasil

Flávia da Silva Cordeiro¹

Departamento de Pesquisa e Pós Graduação em Modelagem Matemática e Computacional, CEFET, Belo Horizonte, MG

José Luiz Acebal Fernandes²

Departamento de Pesquisa e Pós Graduação em Modelagem Matemática e Computacional, CEFET, Belo Horizonte, MG

Álvaro Eduardo Eiras³

Instituto de Ciências Biológicas, UFMG, Belo Horizonte, MG

Resumo. O *Aedes aegypti* é o principal vetor transmissor de doenças como dengue, zika e chikungunya. Em particular, a dengue é considerada endêmica em mais de 100 países e atingiu 1.649.008 pessoas no Brasil em 2015, enquanto a infecção pelos vírus da zika e chikungunya começaram a circular nos últimos anos alcançando, respectivamente, 2.401 e 38.332 casos em 2015. Como as fêmeas *Ae. aegypti* são as responsáveis pela transmissão dos vírus, a incidência destas doenças está relacionada com a presença da fêmea do *Aedes aegypti*. Por sua vez, a população de fêmeas guarda relação com variáveis meteorológicas como pluviosidade e temperatura via produtividade dos contâiners, processos metabólicos etc. A influência da temperatura está amplamente discutida na literatura. Entretanto, em ações de agentes públicos no controle do vetor, a série temporal de capturas de fêmeas, uma amostragem da população no ambiente, exhibe picos com padrão similar à série de precipitação, enquanto a temperatura mostra uma série temporal suave. Neste trabalho, usamos a técnica DTW para investigar a possível relação causal entre as séries temporais de temperatura e população de fêmeas, bem como precipitação e população de fêmeas para dados de 2009/2010 em Lavras/MG. Em seguida, obtemos uma função para *time lag* dinâmico de modo a alinhar as duas séries de dados.

Palavras-chave. Dengue. Zika. DTW.

1 Introdução

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) a fêmea do mosquito do gênero *Aedes*, principalmente o *Aedes aegypti*, pode transmitir o vírus da dengue, da febre amarela, da chikungunya e da zika [1]. A dengue é uma doença endêmica em mais de 100 países,

¹fscordeiro.mat@gmail.com

²acebal@dppg.cefetmg.br

³alvaro@icb.ufmg.br

sendo considerada um dos principais problemas de saúde pública do mundo com cerca de 390 milhões de infecções anuais no mundo. O principal vetor destas doenças em ambiente urbano é mosquito o *Aedes aegypti* que pode transmitir, além da dengue, diversos outros vírus como os da zika e chikungunya.

No Brasil, em 2015 foram notificados 38.332 possíveis casos de chikungunya, dos quais 13.236 foram confirmados, e no período de abril de 2015 até 02/01/2016, 19 Unidades da Federação confirmaram laboratorialmente autoctonia da zika [2]. As agências que investigam os surtos de Zika encontraram evidências sobre a relação entre o vírus e a microcefalia.

Como não há vacinas para estes vírus, a gestão ambiental, com monitoramento e controle da população de vetores, é considerada a principal forma de controle das arboviroses. O controle pode ser físico (utilização de água quente), biológico (predadores do vetor), genético (machos estéreis) ou químico (larvicida) [3]. O monitoramento entomológico pode ser feito utilizando as metodologias de pesquisa larvária, ovitrampa e captura de fêmeas adultas, como é o caso da armadilha MosquiTRAP [4].

O *Aedes aegypti* está presente nas regiões tropicais e subtropicais, com variações locais de risco influenciadas por variáveis meteorológicas como precipitação, temperatura, umidade relativa e ventos, atuando na produtividade dos contêiners, processos metabólicos, comportamento, etc. Além destas, outras variáveis ambientais, como rápida urbanização não planejada [1], também têm impacto no fenômeno. Estudos mostram que há uma forte associação entre incidência de doenças transmitidas por este vetor e temperatura [5–7]. Entretanto, a observação das séries temporais geradas em programas de controle como o conduzido em Lavras, MG-Brasil, exibem uma curiosa relação entre a série amostral de fêmeas capturadas (IMFA) e a série temporal de precipitação ou pluviosidade.

Como a fêmea do mosquito é responsável pela picada e, conseqüentemente, pela transmissão das doenças, são usados indicadores da população de fêmeas para aferir o risco de transmissão. A armadilha MosquiTRAP[®] tem sido utilizada para compor o índice IMFA (Índice Médio de Fêmeas Aedes), que corresponde à razão entre o número de fêmeas *Aedes aegypti* em fase de oviposição capturadas pela armadilha MosquiTRAP[®] e o número total de armadilhas instaladas na região de estudo. O IMFA é utilizado no Monitoramento Inteligente da Dengue (MI-Dengue), gerando mapas geo-referenciados codificados por cores, classificando cada região do município monitorado, bem como índices globais para estimativa da população de fêmeas *Aedes aegypti* no município [8]. Assim, a tecnologia do MI-Dengue direciona as medidas de controle por agentes públicos, possibilitando a redução de casos das doenças e gastos do município.

Neste trabalho, de posse dos dados de pluviosidade acumulada semanalmente (Fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE), dos dados de IMFA (fornecidos pela ECOVEC) e dos dados de temperatura média semanal, também fornecidos pelo INPE, todos referentes às semanas epidemiológicas 9-52 do ano de 2009 e 1-46 do ano de 2010, do programa de controle do vetor na cidade de Lavras, Minas Gerais, Brasil, analisamos possível relação causal entre estas variáveis meteorológicas e infestação. Através da técnica DTW, determinamos pontos homólogos entre duas séries temporais. Em seguida, levantamos uma série temporal para o time lag entre as séries.

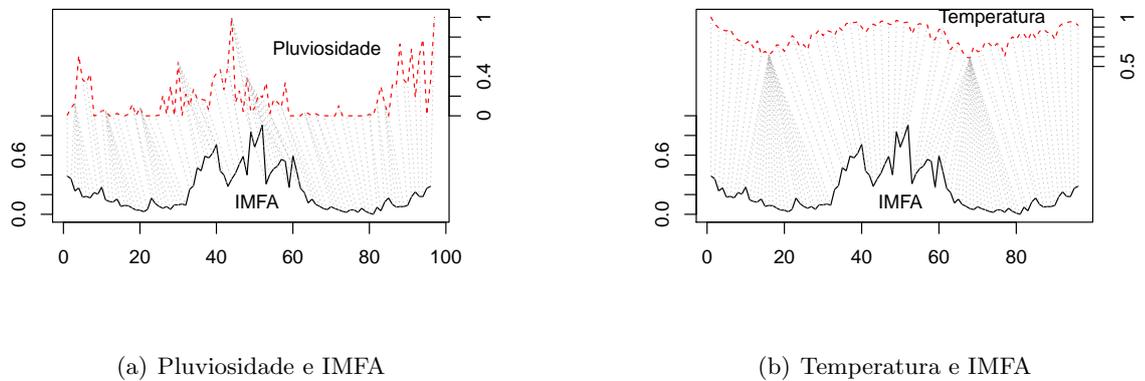


Figura 1: Associação entre as séries de (a) Pluviosidade e IMFA e (b) Temperatura e IMFA, referentes às semanas epidemiológicas 9-52 de 2009 e 1-46 de 2010 da cidade de Lavras, MG.

2 DTW - *Dynamic Time Warping* para determinar similaridades

O *DTW - Dynamic Time Warping* é um método de análise de séries temporais usado para processamento de sinais, presente em uma biblioteca DTW compatível com o software R (VERSÃO 3.1.2, 2014) [9]. O *DTW* determina os valores de algum funcional, seja ele distância euclidiana acumulada, correlação cruzada, covariância, etc, usando, dois a dois, todos os pontos das duas séries temporais como referência para construir uma matriz de similaridade entre os pontos. Em seguida, a técnica percorre a matriz para buscar os extremos, máximos ou mínimos, conforme o funcional, para estabelecer pares de pontos com maior grau de similaridade. No presente trabalho, minimizamos a distância euclidiana entre séries temporais normalizadas. Assim, a técnica calcula a distância euclidiana de um ponto com todos os demais em uma faixa de 20 semanas e, em seguida, itera o ponto de referência para refazer os cálculos das distâncias, montando uma matriz de distâncias dois a dois. Finalmente, o DTW busca pares de pontos de distância mínima, respeitando as sucessões de picos e vales da série temporal de forma hierárquica. Deste modo, a técnica decide por pares de pontos com maior grau de similaridade. Evitamos assim correlações espúrias, pois todos os pares de uma faixa de 20 semanas são investigados. Esperamos elucidar relações causais entre estas quantidades via similaridade geométrica máxima entre as séries temporais. As séries temporais de pluviosidade e IMFA, e, temperatura e IMFA, são normalizadas para utilização do *DTW 2*.

Sabidamente, a série temporal para a população de fêmeas *Aedes aegypti* é influenciada pela temperatura e pluviosidade em graus distintos, além de outros fatores, a série temporal para o IMFA torna-se um resultado misto destes efeitos com razoável grau de complexidade.

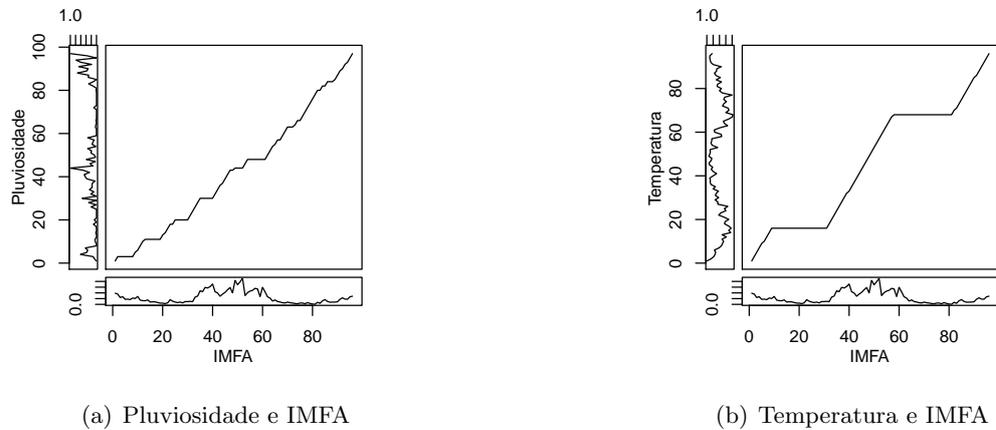


Figura 2: Pontos homólogos segundo a menor distância euclidiana as série de (a) IMFA e pluviosidade e (b) IMFA e temperatura, ambos referentes às semanas epidemiológicas 9-52 de 2009 e 1-46 de 2010 da cidade de Lavras, MG, Brasil.

Na figura 2, a técnica DTW associa pares de pontos homólogos entre as séries temporais de pluviosidade e IMFA, de forma hierárquica, indicando associações sempre com pontos da série de IMFA posteriores no tempo ao homólogo da precipitação. Neste caso, a técnica sugere que possa haver relação de causa e efeito entre precipitação e IMFA. Tal fato, não ocorre com a temperatura, onde a técnica estabelece associações entre pontos de IMFA anteriores aos de temperatura e, portanto, constituindo relações reversas no tempo e dificultando uma interpretação causal.

Note que não se está dizendo que não haja alguma relação causal entre temperatura e população de fêmeas, mas que a possível relação causal entre pluviosidade e população de fêmeas é dominante neste caso misto e deve ser bastante considerada.

Com o intuito de verificar o grau de relação causal entre as variáveis meteorológicas (pluviosidade e temperatura) e o IMFA traçamos a diagonal principal do plano (figura 3) juntamente com o DTW da figura 2. Analisando a figura 3(a) percebemos que a curva referente ao DTW está relativamente próxima da diagonal principal, sempre associando pontos de IMFA posteriores aos da precipitação, ou seja, a diagonal (lugar geométrico dos tempos iguais) está acima dos pontos da curva de associação do DTW, indicando a possibilidade de uma relação causal entre pluviosidade e IMFA. Já na figura 3(b) percebe-se que ora temos ponto do DTW acima da diagonal, ora temos ponto abaixo da diagonal. A partir daí, não fica sugerida uma relação de causalidade entre as variáveis.

De posse das associações do DTW, pudemos levantar o *timelag* (distanciamento temporal) dinamicamente das duas séries temporais. Considerando ao dados da figura 3(a) determinamos a distância de cada ponto da curva do DTW até a diagonal. Então traçamos o gráfico dos *lags* em função das semanas epidemiológicas (figura 4). A figura 4 ilustra os *lags* que ocorreram ao longo das 96 semanas analisadas. Verificou-se que os

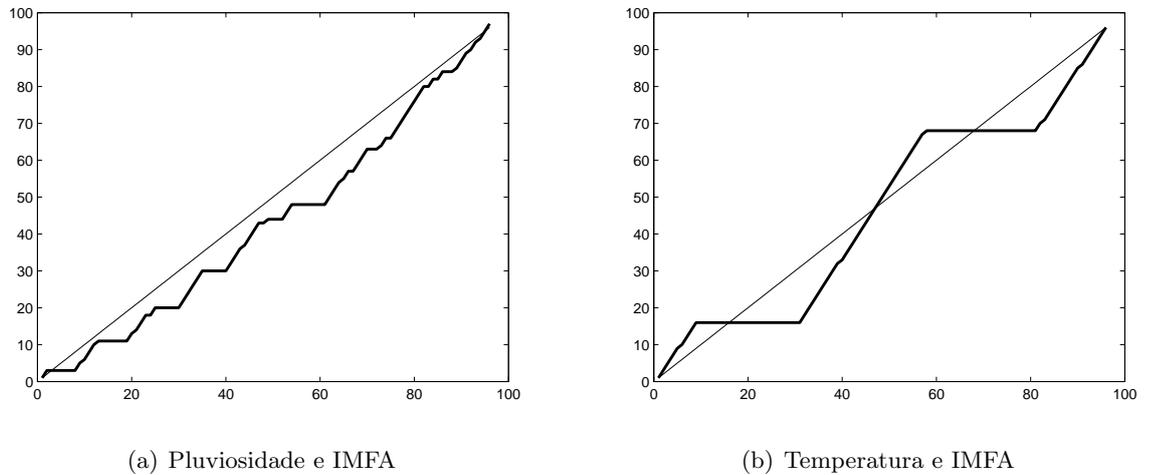


Figura 3: Comparação entre a diagonal do plano e o alinhamento entre as séries de (a) IMFA e pluviosidade e (b) IMFA e temperatura, da cidade de Lavras, MG.

lags (positivos) variam no intervalo $[0, 13]$, sendo que alguns valores, como o pico em 13, ocorreu apenas uma vez, indicando que este *lag* não é comum. *Lags* entre 4 e 8 ocorreram com maior frequência, indicando que a chuva acumulada em uma determinada semana gera, após 4, 5, 6, 7 ou 8 semanas, um impacto na população de fêmeas *Aedes aegypti*.

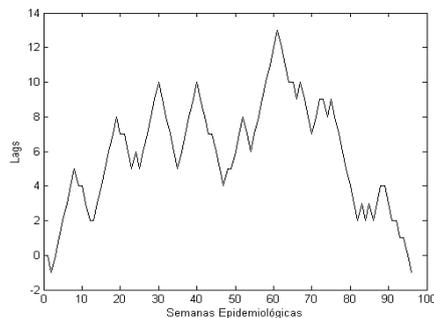


Figura 4: *Lags* entre as séries temporais de pluviosidade e IMFA.

3 Considerações Finais

Com base no estudo realizado é possível afirmar que a similaridade entre pluviosidade e IMFA é maior que a existente entre temperatura e IMFA, sugerindo haver relação causal importante entre pluviosidade e IMFA. Os resultados entre temperatura e IMFA não sugerem uma relação causal via DTW. Não se pode dizer que não haja alguma relação

causal entre temperatura e população de fêmeas, mas que, diante desta técnica, a possível relação causal entre pluviosidade e população de fêmeas é dominante neste caso misto e deve ser bastante considerada.

Além disso, a relação entre pluviosidade e IMFA pode ser multimodal, ou seja, ela pode causar impactos na população de fêmeas *Aedes aegypti* adultas a curto, médio e longo prazo. Os resultados sugerem que as autoridades de saúde devem se preocupar com o controle e monitoramento do vetor por até 2 meses após um período chuvoso.

Agradecimentos

Os autores expressam seus agradecimentos ao apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais - FAPEMIG e do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET, MG.

Referências

- [1] World Health Organization. Zika virus. <http://who.int/mediacentre/factsheets/zika/en/>. acessado em 16/02/2016.
- [2] Secretaria de Vigilância em Saúde - Ministério da Saúde. Monitoramento dos casos de dengue, febre de chikungunya e febre pelo vírus Zika até a Semana Epidemiológica 52, 2015. *Boletim Epidemiológico*, 47:1–10, 2016.
- [3] M. R. Donalísio and C. M. Glasser. Vigilância entomológica e controle de vetores do dengue. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, 5(3):259–279, dec 2002.
- [4] M. C. Resende, I. M. Silva, and A. E. Eiras. Avaliação da operacionalidade da armadilha MosquiTRAP no monitoramento de *Aedes aegypti*. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 19(4):329–338, 2010.
- [5] A. F. Ribeiro, G. R. A. M. Marques, J. C. Voltolini, and M. L. F. Condino. Associação entre incidência de dengue e variáveis climáticas. *Revista de Saúde Pública*, 40(4):671–676, aug 2006.
- [6] H.M. Yang and M.L.G. Marcoris. Dinâmica da Transmissão da Dengue com Dados Entomológicos Temperatura-dependentes. *Tema Tend. Matemática Aplicada a Computação*, 8(1):159–168, 2007.
- [7] A. H. Azil, S. A. Long, S. A. Ritchie, and C. R. Williams. The development of predictive tools for pre-emptive dengue vector control: a study of *Aedes aegypti* abundance and meteorological variables in North Queensland, Australia. *Tropical medicine & international health : TM & IH*, 15(10):1190–7, oct 2010.
- [8] Ecovec. A novel tool for dengue vector monitoring in brazil. 2013.

- [9] R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2013.