

Estratégias de Controle Biológico do *Aedes aegypti*: o Papel da Distribuição Espacial dos Criadouros

Ana C. P. Martins¹ Cláudia P. Ferreira²

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP

As arboviroses representam uma das principais causas de morbidade no mundo [1]. No Brasil, destacam-se as que causam epidemias ou surtos no ambiente urbano, como a Dengue, a Zika, o Chikungunya e a Febre Amarela, as quais circulam juntas desde 2015. Essas doenças são transmitidas pelo mosquito *Aedes aegypti*, o qual está bem adaptado ao ambiente urbano. De acordo com os dados do Ministério da Saúde, o Brasil registrou 1.649.146 casos prováveis de dengue em 2023. Em 2024, esse número disparou para 6.636.763 casos, o que representa um aumento alarmante na incidência da doença [2]. Atualmente, a única estratégia de controle ampla e eficaz é o combate ao vetor, no entanto, a eliminação dos vetores esbarra em muitos problemas, como a extinção de programas de saúde pública para controlar os criadouros (controle mecânico) e a resistência que os mosquitos desenvolvem aos pesticidas utilizados (controle químico) [3]. Nesse contexto, o controle biológico surge como uma alternativa promissora e sustentável.

Este trabalho propõe o uso de modelos matemáticos discretos, especificamente autômatos celulares (AC), para estudar e comparar duas estratégias de controle biológico do vetor: (1.) liberação de mosquitos infectados com *Wolbachia* e (2.) liberação de mosquitos estéreis. A primeira técnica consiste em substituir ou diminuir a população selvagem por uma população infectada pela bactéria, a qual é conhecida por seus impactos na reprodução do hospedeiro, especialmente pela indução de incompatibilidade citoplasmática e a transmissão materna. A interrupção do ciclo reprodutivo ocorre quando mosquitos machos com *Wolbachia* acasalam com mosquitos fêmeas sem *Wolbachia*, o que não gera uma descendência viável. Por outro lado, a transmissão da bactéria para as gerações descendentes ocorre quando mosquitos fêmeas com *Wolbachia* acasalam-se com machos, independentemente de estarem infectados pela bactéria. Diferentemente da técnica de liberação de mosquitos machos estéreis, essa abordagem é autossustentável.

Trata-se de um AC bidimensional, estocástico, de sete estados (os quais indicam ausência ou presença do inseto, fase do ciclo de vida, *status* de infecção e capacidade de oviposição): imaturo infectado e não infectado, adulto virgem infectado e não infectado, adulto não virgem infectado e não infectado, e vazio. Utiliza-se atualização sequencial e condições de contorno periódicas. A cada passo de tempo que corresponde a um dia ($\Delta t = 1$), aplicam-se as regras de transição. Em particular, podemos avaliar a eficácia das duas técnicas de controle usando a seguinte fórmula

$$J = \left(1 - \frac{M_s}{M_0}\right) \cdot 100, \quad (1)$$

onde M_0 e M_s são as populações totais de mosquitos selvagens antes e após o controle (liberação de mosquitos) e

$$M_j = \sum_{t=t_0}^{t_f} M(t)\Delta t \quad \text{com } j = \{0, s\}; \quad (2)$$

¹ana.cp.martins@unesp.br

²claudia.pio@unesp.br

sendo $t \in \{t_0, t_1, \dots, t_f\}$ o intervalo de tempo avaliado, com $\Delta t_0 = \Delta t_1 = \dots = \Delta t_f = 1$, e $M(t)$ representa a população de mosquitos selvagens em cada instante t .

Buscamos analisar a influência da distribuição espacial dos criadouros (regular, aleatória e agrupada) e da dispersão de mosquitos, a fim de compreender seu impacto na técnica de liberação de mosquitos infectados e de mosquitos estéreis. Os resultados obtidos demonstram que a liberação de mosquitos infectados com *Wolbachia* é mais eficaz na redução da população de mosquitos selvagens do que a liberação de mosquitos estéreis. Observamos que a distribuição aleatória dos criadouros favorece mais a persistência e colonização do mosquito do que a regular, enquanto a agrupada intensifica ainda mais esse efeito em relação à aleatória. Esse comportamento reflete a relação entre o número de criadouros e a disponibilidade de espaço, evidenciando como a organização espacial dos criadouros influencia a dinâmica populacional e a eficácia das estratégias de controle. Para ambas as estratégias de controle, a eficácia foi superior na distribuição aleatória em comparação à distribuição agrupada. Isto porque os mosquitos foram liberados aleatoriamente na rede. O resultado evidencia a necessidade de explorar novas abordagens para a liberação de mosquitos, de modo a otimizar os resultados e superar as limitações impostas pela organização espacial dos criadouros.

Alternativamente, a liberação de ovos em vez de adultos pode ser uma abordagem promissora também, uma vez que permite que os indivíduos emergentes já estejam adaptados ao ambiente e distribuídos de forma mais homogênea, potencializando a eficácia das estratégias de controle. Por fim, é importante mencionar que alguns aspectos espaciais não foram ainda analisados, como a existência de barreiras geográficas e possibilidade de imigração de mosquitos selvagens, bem como os impactos que isso poderia ter sobre a eficácia das técnicas de controle. A inclusão desses elementos nas simulações permitirá uma compreensão mais aprofundada da dinâmica populacional de mosquitos e ajudará a refinar as estratégias de controle no futuro.

Agradecimentos

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil, pelo apoio ao presente trabalho, através do Processo n^o 2023/04024-3.

Referências

- [1] C. Barcellos, A. M. V. Monteiro, C. Corvalán, H. C. Gurgel, M. S. Carvalho, P. Artaxo, S. Hacon e V. Ragoni. “Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil”. Em: **Epidemiologia e Serviços de Saúde** 18.3 (2009), pp. 285–304.
- [2] Ministério da Saúde. **Monitoramento das arboviroses**. Online. Acessado em: 13 jan. 2025, <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/a/aedes-aegypti/monitoramento-das-arboviroses>.
- [3] A. L. S. A. Zara, S. M. Santos, E. S. Fernandes-Oliveira, R. G. Carvalho e G. E. Coelho. “Estratégias de controle do *Aedes aegypti*: uma revisão”. Em: **Epidemiologia e Serviços de Saúde** 25 (2016), pp. 391–404.