

UNIVERSIDADE PARANAENSE – UNIPAR
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANTAS MEDICINAIS E FITOTERÁPICOS
NA ATENÇÃO BÁSICA

ANDRÉ DE ALMEIDA CARDOSO

**POTENCIAL AÇÃO INSETICIDA DA *Tagetes erecta* L. NO CONTROLE DE
LARVAS E A ATIVIDADE METABÓLICA DO *Aedes aegypti* L.**

ANDRÉ DE ALMEIDA CARDOSO

**POTENCIAL AÇÃO INSETICIDA DA *Tagetes erecta* L. NO CONTROLE DE
LARVAS E A ATIVIDADE METABÓLICA DO *Aedes aegypti* L.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Plantas Medicinais e Fitoterápicos na Atenção Básica da Universidade Paranaense como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Plantas Medicinais e Fitoterápicos na Atenção Básica com área de concentração em Sistemas Produtivos e de Utilização de Plantas Medicinais e Fitoterápicos.

Orientação: Prof. Dr. Odair Alberton

Umuarama
2026

Ficha Catalográfica

C268p Cardoso, André de Almeida.

Potencial ação inseticida da *Tagetes erecta* L. no controle de larvas e a atividade metabólica do *Aedes aegypti* L. / André de Almeida Cardoso. – Umuarama: Universidade Paranaense – UNIPAR, 2026.

48 f.

Orientador: Dr. Odair Alberton.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Paranaense – UNIPAR.

1. *Aedes aegypti*. 2. *Tagetes erecta*. 3. Óleo essencial. 4. Biolarvicida. 5. CL 90. 6. CL 50. 7. Ovitrapa. 8. Controle vetorial. I. Universidade Paranaense – UNIPAR. II. Título.

(21 ed.) CDD: 583.99

Bibliotecária Responsável Regiane Luiza Campaneli CRB 9/2194

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Pesquisa Pré-clínica de Produtos Naturais e Bioativos, do Programa de Pós-Graduação em Plantas Medicinais e Fitoterápicos na Atenção Básica da Universidade Paranaense e na Unidade de Umuarama da Universidade Paranaense como requisito para a obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Plantas Medicinais e Fitoterápicos na Atenção Básica – Área de Concentração em Sistemas Produtivos e de Utilização de Plantas Medicinais e Fitoterápicos, sob orientação do Dr. Odair Alberton

**POTENCIAL AÇÃO INSETICIDA DA *Tagetes erecta* L. NO CONTROLE DE
LARVAS E A ATIVIDADE METABÓLICA DO *Aedes aegypti* L.**

Os recursos financeiros para o desenvolvimento do projeto foram obtidos junto às agências e órgãos de fomento à pesquisa abaixo relacionadas:

- 1 - UNIPAR: Universidade Paranaense
- 2 - CAPES: Conselho de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior
- 3 - CNPq: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
- 4 - Coordenação de Pós-Graduação *Stricto Sensu* e Pesquisa
- 5 - Fundação Araucária: Apoio e Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná

ANDRÉ DE ALMEIDA CARDOSO

**POTENCIAL AÇÃO INSETICIDA DA *Tagetes erecta* L. NO CONTROLE DE
LARVAS E A ATIVIDADE METABÓLICA DO *Aedes aegypti* L.**

Trabalho de conclusão do Programa de Pós-Graduação em Plantas Medicinais e Fitoterápicos na Atenção Básica aprovado como requisito para obtenção do título de Mestre em Plantas Medicinais e Fitoterápicos na Atenção Básica pela Universidade Paranaense – UNIPAR, pela seguinte banca examinadora:

Dr. Odair Alberton
Universidade Paranaense – UNIPAR (orientador)

Dra. Cristiane Mengue Feniman Moritz
Universidade Estadual de Maringá – UEM (banca externa)

Dra. Zilda Cristiani Gazim
Universidade Paranaense – UNIPAR (banca interna)

Umuarama, 12 de Agosto de 2026

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela vida, saúde, força e perseverança concedidas ao longo desta caminhada acadêmica.

À minha família, pelo apoio incondicional, incentivo e compreensão durante todos os momentos desta trajetória.

À Universidade Paranaense – UNIPAR, especialmente à Coordenação de Pós-Graduação *Stricto Sensu* e Pesquisa e ao Programa de Pós-Graduação em Plantas Medicinais e Fitoterápicos na Atenção Básica, pela oportunidade de realização deste curso de mestrado e pelo suporte acadêmico e científico oferecido.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Odair Alberton, pela orientação, dedicação, ensinamentos, confiança e valiosas contribuições para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos professores, colegas e colaboradores do programa, pelos conhecimentos compartilhados, apoio e convivência acadêmica enriquecedora.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

André de Almeida Cardoso.

“Até cortar os próprios defeitos pode ser perigoso. Nunca se sabe qual é o defeito que sustenta nosso edifício inteiro.”

— *Clarice Lispector*

CARDOSO, André de Almeida. Potencial ação inseticida da *Tagetes erecta* L. no controle de larvas e a atividade metabólica do *Aedes aegypti* L. Orientador: Prof. Dr. Odair Alberton. 2026. 48 f. Dissertação (Mestrado em Plantas Medicinais e Fitoterápicos na Atenção Básica) – Universidade Paranaense, Umuarama, 2026.

RESUMO

A crescente resistência de populações de *Aedes aegypti* L. aos inseticidas sintéticos têm impulsionado a busca por alternativas sustentáveis e ecologicamente seguras para o controle vetorial. Nesse contexto, os óleos essenciais extraídos de plantas medicinais têm se destacado devido à presença de compostos bioativos com propriedades larvicidas e repelentes. O trabalho encontra-se dividido em dois capítulos. O primeiro reúne revisão bibliográfica sobre o uso de plantas aromáticas, especialmente *Tagetes erecta* L. (cravo-de-defunto), no controle de mosquitos vetores, com abordagem dos aspectos epidemiológicos da dengue, do controle biológico, do uso de *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) e do potencial dos fitoderivados no manejo integrado de vetores. O segundo capítulo apresenta bioensaios larvicidas realizados com óleo essencial comercial de *T. erecta* sobre larvas de *A. aegypti* de 3º e 4º estágio, obtidas a partir de ovos coletados em ovitrampas da Vigilância Ambiental de Umuarama. Os ensaios foram conduzidos nos Laboratórios de Biotecnologia e Entomologia Aplicada da UNIPAR, com unidades experimentais contendo 25 larvas, sob condições controladas. A mortalidade após 24 horas foi avaliada nas concentrações de 250 a 500 $\mu\text{L L}^{-1}$, mantendo-se a análise voltada à concentração letal capaz de atingir 50% e 90% da população-alvo, (CL50) estimada em 186,7 $\mu\text{L L}^{-1}$ e na (CL90). Os resultados demonstraram elevada mortalidade nas maiores concentrações, com CL90 estimada em 271,4 $\mu\text{L L}^{-1}$. Também foram incorporados dados de monitoramento entomológico por ovitrampas em 2025, considerando 200 armadilhas no município de Umuarama. Conclui-se que o óleo essencial de *T. erecta* apresenta potencial larvicida relevante e pode contribuir, mediante estudos complementares de padronização, segurança e validação em campo, para estratégias sustentáveis de controle de *A. aegypti*.

Palavras-chave: *Aedes aegypti*; *Tagetes erecta*; óleo essencial; biolarvicida; CL90; CL50; ovitrampa; controle vetorial.

CARDOSO, André de Almeida. Potential insecticidal action of *Tagetes erecta* L. in the control and metabolic activity of larvae of *Aedes aegypti* L. Advisor: Prof. Dr. Odair Alberton. 2026. 48 p. Dissertation (Master's degree in Medicinal Plants and Phytotherapeutics in Basic Attention) – University Paranaense, Umuarama, 2026.

ABSTRACT

The increasing resistance of *Aedes aegypti* L. populations to synthetic insecticides has encouraged the search for sustainable and environmentally safer alternatives for vector control. In this context, essential oils from medicinal plants have been highlighted due to bioactive compounds with larvicidal and repellent properties. This dissertation is organized into two chapters. The first chapter presents a bibliographic review on the use of aromatic plants, especially *Tagetes erecta* L. (marigold), in the control of mosquito vectors, addressing dengue epidemiology, biological control, the use of *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti), and the potential of plant-derived products in integrated vector management. The second chapter presents larvicidal bioassays performed with commercial *T. erecta* essential oil against *A. aegypti* larvae obtained from eggs collected in ovitraps monitored by the Environmental Surveillance service of Umuarama. The assays were carried out at the Medicinal Garden and at the Biotechnology and Applied Entomology Laboratories of Universidade Paranaense (UNIPAR), using experimental units with 25 larvae under controlled conditions. Mortality after 24 hours was assessed at concentrations ranging from 250 to 500 $\mu\text{L L}^{-1}$, focusing on the lethal concentration capable of reaching 90% of the target population (LC90). Results showed high larval mortality at the highest concentrations, with an estimated LC90 of 271.4 $\mu\text{L L}^{-1}$. Entomological monitoring data from ovitraps in 2025, considering 200 traps in Umuarama, were also incorporated. It is concluded that *T. erecta* essential oil has relevant larvicidal potential and may contribute, after complementary studies on standardization, safety, and field validation, to sustainable strategies for *A. aegypti* control.

Keywords: *Aedes aegypti*; *Tagetes erecta*; essential oil; biolarvicide; CL90; CL50; ovitrap; vector control.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Artigo 2 – Ação inseticida do óleo essencial de *Tagetes erecta* L. (cravo-de-defunto) sobre larvas e atividade metabólica de *Aedes aegypti* L.

Figura 1 – Evolução do número de casos prováveis de dengue no Brasil, 2016–2025.....	29
Figura 2 – Modelo de coleta semanal e total acumulado de ovos em ovitrampas no município de Umuarama.....	32
Figura 3 – Montagem dos bioensaios larvicidas com 25 larvas.....	34
Figura 4 – A CL90 por regressão Probit, com intervalo de confiança de 95%.....	36
Figura 5 – Coleta semanal e total acumulado de ovos em ovitrampas no ano de 2025.....	36
Figura 6 – Gráfico dos focos de <i>Aedes aegypti</i> no município de Umuarama em 2025.....	37

LISTA DE TABELAS

Artigo 2 - Ação inseticida do óleo essencial de *Tagetes erecta* L. (cravo-de-defunto) sobre larvas e atividade metabólica de *Aedes aegypti* L.

Tabela 1 – Mortalidade (%) em diferentes concentrações do óleo essencial de *Tagetes erecta* após 24 h na unidade experimental com 25 larvas.....35

SUMÁRIO

1.1. Introdução	14
1.2. Revisão da Literatura	17
1.2.1. O controle biológico de vetores e a busca por alternativas sustentáveis	19
1.2.2. Composição química e propriedades biológicas dos óleos essenciais	20
1.2.3. O gênero <i>Tagetes</i> e seu potencial no controle de <i>Aedes aegypti</i>	21
1.3. Considerações finais	22
Referências	22
Objetivo.....	25
CAPÍTULO 2 – ARTIGO.....	26
AVALIAÇÃO LARVICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL DE <i>Tagetes erecta</i> L. (CRAVO- DE-DEFUNTO) SOBRE <i>Aedes aegypti</i> L. EM CONDIÇÕES LABORATORIAIS.....	27
RESUMO	27
ABSTRACT.....	28
1. INTRODUÇÃO.....	29
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	31
2.1. Local e período de execução.....	31
2.2. Espécie vegetal.....	31
2.3. Obtenção do óleo essencial.....	32
2.4. Obtenção dos ovos e criação das larvas	32
2.5. Bioensaios larvicidas.....	33
2.6. Análise estatística	33
2.7. Aspectos éticos e biossegurança.....	33
3. RESULTADOS	34
4. DISCUSSÃO.....	38
5. CONCLUSÃO.....	45
REFERÊNCIAS	46

CAPÍTULO 1

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

**POTENCIAL AÇÃO INSETICIDA DA *Tagetes erecta* L. NO CONTROLE DE
LARVAS E A ATIVIDADE METABÓLICA DO *Aedes aegypti* L.**

O capítulo 1 foi editado de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

POTENCIAL AÇÃO INSETICIDA DA *Tagetes erecta* L. NO CONTROLE DE LARVAS E A ATIVIDADE METABÓLICA DO *Aedes aegypti* L.

1.1. Introdução

A dengue é considerada uma das arboviroses de maior relevância mundial, especialmente em regiões tropicais e subtropicais. A Organização Mundial da Saúde estima que cerca de metade da população mundial esteja exposta ao risco de infecção e que ocorram aproximadamente 100 a 400 milhões de infecções por ano (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2025). Nas Américas, o ano de 2024 foi marcado por cenário epidêmico expressivo, com quase 13 milhões de casos suspeitos notificados e milhares de óbitos associados à doença (PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, 2025).

No Brasil, a dengue apresenta comportamento endêmico-epidêmico desde a década de 1980, com ondas de transmissão que variam conforme circulação de sorotipos, condições climáticas, urbanização, disponibilidade de criadouros e efetividade das ações de vigilância. Estudos de série temporal demonstram tendência de aumento da incidência e da letalidade ao longo das últimas décadas, reforçando a necessidade de estratégias integradas de prevenção e controle (SILVA et al., 2025).

O *Aedes aegypti* L., principal vetor da dengue, zika e chikungunya, apresenta elevada adaptação ao ambiente urbano, com oviposição em recipientes artificiais e rápida reposição populacional após intervenções pontuais. A dependência de água acumulada e a proximidade com domicílios humanos favorecem a persistência do vetor mesmo em áreas com campanhas regulares de controle (DONALÍSIO; GLASSER, 2002; ZARA et al., 2016).

Historicamente, o controle do *A. aegypti* foi apoiado no uso de inseticidas químicos, principalmente organofosforados e piretroides. Embora tais compostos tenham relevância operacional, o uso contínuo e indiscriminado favorece a seleção de populações resistentes, reduzindo a efetividade das ações de vigilância e exigindo alternativas de menor impacto ambiental (LUNA et al., 2004; VALLE et al., 2019). Tal resistência compromete a efetividade dos programas de controle vetorial, tornando urgente a busca por alternativas sustentáveis (VALLE et al., 2019).

Entre as alternativas de controle, destacam-se o manejo ambiental de criadouros, as armadilhas de monitoramento, biolarvicida à base de *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti), a

educação em saúde e os compostos de origem vegetal. Essas estratégias são compatíveis com o manejo integrado de vetores, que recomenda a associação de diferentes métodos de controle, monitoramento entomológico e participação comunitária (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2017; ZARA et al., 2016).

Diante desse cenário, óleos essenciais de plantas aromáticas têm sido investigados como fontes de compostos bioativos com atividade larvicida. Entre as espécies de interesse está a *Tagetes erecta* L (Asteraceae), popularmente conhecida como cravo-de-defunto, cujo óleo essencial apresenta constituintes terpênicos associados à toxicidade sobre larvas de mosquitos (MARQUES et al., 2011; PAVELA, 2015).

Pesquisas com o óleo essencial de *T. erecta* demonstram atividade larvicida sobre *A. aegypti* e indicam a presença de compostos terpênicos de interesse entomológico. A composição e a atividade desses óleos podem variar conforme a origem do material vegetal, a parte da planta utilizada e as condições de obtenção do óleo (MARQUES et al., 2011; PAVELA, 2015).

Além da ação biológica, os óleos essenciais têm sido investigados como alternativas de origem vegetal para o manejo de insetos. Entretanto, sua utilização deve considerar aspectos como composição química, estabilidade, padronização, eficácia e segurança ambiental, especialmente quando se pretende avançar para aplicações em campo (PAVELA; BENELLI, 2016).

No município de Umuarama, a infestação por *A. aegypti* tem aumentado significativamente, com registros de surtos recentes e crescimento no número de casos confirmados atingindo sua maior epidemia no ciclo epidemiológico de 2023/2024, somando 8.676 diagnósticos positivos. Nesse contexto, a pesquisa proposta pela Universidade Paranaense visa contribuir com dados científicos que fundamentem o uso do óleo essencial de *T. erecta* como alternativa biotecnológica no combate à dengue.

Desse modo, este trabalho teve como objetivo avaliar a potencial ação larvicida do óleo essencial de *T. erecta* sobre larvas de *A. aegypti*, com ênfase na determinação das concentrações letais CL50 e CL90, relacionando os resultados obtidos aos dados de vigilância entomológica provenientes de ovitrampas no município de Umuarama, Paraná.

Para fundamentar o estudo, foi realizada uma revisão bibliográfica de caráter descritivo, por meio de buscas nas bases de dados SciELO, Google Acadêmico, PubMed e Portal de Periódicos da CAPES. Foram utilizados, isoladamente ou em combinação, os seguintes descritores: “*Aedes aegypti*”, “ovitrampas”, “resistência a inseticidas”, “*Tagetes erecta*”, “óleo essencial” e “atividade larvicida”.

67 A revisão teve como finalidade reunir informações relacionadas ao monitoramento de
68 *A. aegypti*, à resistência aos inseticidas convencionais e ao potencial de produtos de origem
69 vegetal, especialmente óleos essenciais, como alternativas para o controle larval.

1.2. Revisão da Literatura

O *Aedes aegypti* L. é uma espécie originária da África, adaptada ao ambiente urbano e dependente da água parada para completar seu ciclo reprodutivo. As fêmeas necessitam de sangue humano para a maturação dos ovos, o que aumenta a exposição de populações humanas à infecção pelos vírus da dengue, zika e chikungunya (MASSAD et al., 2003).

O *A. aegypti* é uma espécie de grande importância sanitária por atuar como vetor de arboviroses capazes de produzir surtos extensos em áreas urbanas. Seu ciclo de vida envolve ovos, larvas, pupas e adultos, sendo os estágios imaturos dependentes de ambientes aquáticos. Por essa razão, ações voltadas ao monitoramento de ovos por meio das ovitrampas e ao controle larval são componentes estratégicos da vigilância entomológica.

As ovitrampas são ferramentas utilizadas para detectar e acompanhar a presença de fêmeas ovipositantes de *A. aegypti*. De modo geral, consistem em recipientes escuros com água e palhetas de material poroso, nas quais as fêmeas depositam ovos acima da linha d'água. A substituição semanal e leitura periódica das palhetas possibilitam estimar a atividade reprodutiva do vetor e orientar medidas de controle antes da emergência de adultos.

Os métodos tradicionais de controle do vetor, baseados no uso de inseticidas químicos, têm se mostrado insuficientes diante do avanço da resistência. A resistência a organofosforados, como o temefós, já foi documentada em populações brasileiras de *A. aegypti*, reforçando a necessidade de estratégias complementares e de manejo integrado do vetor (CAMPOS et al., 2001; VALLE et al., 2019).

No controle biológico, o Bti representa uma das ferramentas mais consolidadas para manejo larval de mosquitos, por produzir toxinas com ação específica sobre larvas de culicídeos. Seu uso é considerado relevante em programas de controle por reduzir populações larvais com menor impacto sobre organismos não-alvo quando comparado ao uso intensivo de inseticidas convencionais (ZARA et al., 2016; NASCIMENTO et al., 2024).

Os óleos essenciais, por sua vez, constituem misturas complexas de metabólitos secundários, especialmente monoterpenos e sesquiterpenos, associados a efeitos repelentes, larvicidas e inseticidas. A composição química varia conforme espécie, parte vegetal, condições ambientais, método de extração e armazenamento, o que torna necessária a padronização do insumo utilizado em bioensaios (PAVELA; BENELLI, 2016).

A família Asteraceae tem sido frequentemente investigada quanto ao potencial larvicida contra *A. aegypti*. Estudos com espécies do gênero *Tagetes* indicam que compostos como piperitona, limoneno e derivados terpênicos podem estar associados ao efeito tóxico

sobre larvas, interferindo em processos fisiológicos e provocando alterações comportamentais, letargia e mortalidade (MARQUES et al., 2011).

No caso do cravo-de-defunto, estudos identificaram compostos terpênicos, como piperitona, limoneno e outros constituintes voláteis, associados ao interesse biológico da espécie. A atividade larvicida, entretanto, deve ser interpretada considerando a composição do óleo e as condições experimentais empregadas (MARQUES et al., 2011; PAVELA, 2015).

Além da eficácia biológica, o desenvolvimento de produtos de origem vegetal deve considerar seus possíveis impactos ambientais e a segurança para organismos não-alvo. Por essa razão, óleos essenciais e outros fitoderivados são mais adequadamente compreendidos como ferramentas complementares dentro de estratégias de manejo integrado de vetores (PAVELA; BENELLI, 2016; ZARA et al., 2016).

A avaliação de concentrações letais é recurso central na interpretação de bioensaios larvicidas. Neste trabalho, conforme orientação metodológica adotada, a análise foi direcionada à CL50 por representar a concentração estimada para provocar mortalidade de 50% da população-alvo e CL90, por representar a concentração estimada para provocar mortalidade de 90% da população-alvo, parâmetro mais exigente e operacionalmente relevante para avaliação de potencial biolarvicida.

Nesse contexto, estratégias inovadoras de controle vetorial têm ganhado destaque, como o método Wolbachia, que consiste na introdução da bactéria endossimbionte Wolbachia em populações de *A. aegypti*, reduzindo sua capacidade de transmissão de arboviroses como dengue, zika e chikungunya. Essa abordagem tem apresentado resultados promissores em campo, contribuindo para a diminuição da circulação viral em áreas urbanas (HOFFMANN et al., 2011; UTARINI et al., 2021). De forma complementar, também se destacam as técnicas baseadas na liberação de mosquitos geneticamente modificados, desenvolvidos para reduzir a população do vetor por meio da produção de descendentes inviáveis (ALPHEY, 2014; CARVALHO et al., 2015).

A substituição gradual de inseticidas convencionais por compostos naturais, associada à educação ambiental e ao monitoramento de criadouros, tem se mostrado uma estratégia eficaz na redução da incidência de *A. aegypti* (VALLE et al., 2019).

A prospecção de espécies vegetais com ação inseticida representa, portanto, uma linha promissora de pesquisa aplicada à saúde pública. A identificação e padronização de substâncias bioativas podem conduzir à produção de biolarvicidas estáveis, seguros e economicamente viáveis (AZEVEDO et al., 2023).

Nesse contexto, a *T. erecta* destaca-se como espécie de fácil cultivo, ampla

disponibilidade e comprovado potencial inseticida, configurando-se como alternativa sustentável para o combate ao *A. aegypti* (MACÊDO et al., 1997).

1.2.1. O controle biológico de vetores e a busca por alternativas sustentáveis

O controle de vetores de importância médica requer ações integradas, contínuas e baseadas em evidências. A eliminação mecânica de criadouros permanece essencial, mas a complexidade dos ambientes urbanos exige ferramentas complementares, como vigilância por ovitrampas, educação em saúde, controle larval e uso criterioso de agentes biológicos.

O manejo integrado de vetores propõe a combinação de diferentes estratégias, considerando dados epidemiológicos, entomológicos e ambientais. Esse modelo reduz a dependência exclusiva de inseticidas químicos e permite selecionar intervenções mais adequadas ao contexto local (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2017).

Nesse contexto, a necessidade de estratégias alternativas tem estimulado o avanço de pesquisas voltadas ao desenvolvimento e à aplicação de métodos biológicos e ecológicos de controle. Entre as estratégias biológicas estudadas, destaca-se a utilização da bactéria endossimbionte *Wolbachia*, naturalmente associada a diversos artrópodes. Em populações de *A. aegypti*, a presença dessa bactéria pode interferir na capacidade do mosquito de transmitir determinados arbovírus, além de produzir alterações reprodutivas que favorecem sua disseminação nas populações do vetor. Essa abordagem representa uma estratégia promissora de controle, uma vez que atua na redução da competência vetorial e pode contribuir para a diminuição da transmissão de doenças.

Uma alternativa amplamente estudada é o uso de Bti, uma bactéria entomopatogênica empregada no controle de larvas de mosquitos. Durante a esporulação, o Bti produz proteínas cristalinas com atividade tóxica, que, após a ingestão pelas larvas, são ativadas no trato digestivo e provocam danos às células do epitélio intestinal, levando à morte do inseto. Por apresentar ação relativamente específica sobre larvas de culicídeos, o Bti é considerado uma alternativa de menor impacto ambiental quando comparado a diversos inseticidas químicos de amplo espectro.

Além dos agentes microbianos, os predadores naturais também desempenham importante papel na regulação das populações de mosquitos. As ninfas de libélulas, por serem predadoras aquáticas, podem consumir larvas de *A. aegypti* durante o desenvolvimento em criadouros, contribuindo para a redução das formas imaturas do vetor. Na fase adulta, as

libélulas também podem atuar como predadoras de insetos voadores, incluindo mosquitos adultos, participando da regulação natural das populações desses insetos no ambiente, podendo ser atraída por meio do plantio e manejo de crotalária como, por exemplo, a espécie *Crotalaria juncea* que é de ciclo rápido (cerca de 100 dias).

Dessa forma, o uso de microrganismos, como *Wolbachia* e Bti, associado à ação de predadores naturais, como ninfas e libélulas adultas, demonstra a diversidade de estratégias que podem ser empregadas no manejo de populações de *A. aegypti*. A integração desses métodos com outras medidas de controle pode favorecer abordagens mais sustentáveis e reduzir a dependência exclusiva de inseticidas sintéticos. Nesse contexto, a busca por novos agentes de origem vegetal, como *T. erecta*, também se apresenta como uma importante alternativa para o desenvolvimento de estratégias complementares de controle do vetor.

Os biolarvicidas de origem microbiana, especialmente aqueles baseados em Bti, apresentam importância operacional por agir em estágios imaturos do mosquito. Em paralelo, fitoderivados como óleos essenciais podem ampliar o conjunto de alternativas disponíveis, desde que sua eficácia, estabilidade, segurança e viabilidade de aplicação sejam demonstradas em estudos laboratoriais e de campo.

1.2.2. Composição química e propriedades biológicas dos óleos essenciais

Óleos essenciais são produtos voláteis obtidos de diferentes partes das plantas, formados por misturas de substâncias lipofílicas, entre as quais se destacam monoterpenos, sesquiterpenos e compostos oxigenados. Essa composição confere aroma característico e diversas propriedades biológicas, incluindo atividade antimicrobiana, repelente e larvicida. A eficiência larvicida dos óleos essenciais pode decorrer da ação isolada de um constituinte majoritário ou da sinergia entre múltiplos compostos. Por isso, estudos de caracterização química por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas são importantes para relacionar composição e resposta biológica, além de favorecer a reprodutibilidade dos resultados (AZEVEDO et al., 2023).

Em mosquitos, compostos terpênicos podem afetar a integridade da cutícula, a respiração celular e a transmissão de impulsos nervosos, resultando em letargia, paralisia e morte larval. A rápida degradação ambiental desses compostos constitui vantagem potencial, embora também represente desafio para formulações estáveis e persistentes (PAVELA, 2015; PAVELA; BENELLI, 2016).

1.2.3. O gênero *Tagetes* e seu potencial no controle de *Aedes aegypti*

O gênero *Tagetes* (Asteraceae) reúne espécies cultivadas com finalidade ornamental, medicinal e agrícola. Entre elas, *T. erecta*, *T. patula* e *T. minuta* tem sido relacionadas à produção de compostos bioativos com ação sobre insetos.

A espécie *T. erecta*, conhecida como cravo-de-defunto, apresenta flores e partes aéreas ricas em metabólitos secundários. Marques et al. (2011) avaliaram o óleo essencial de *T. erecta* sobre larvas de terceiro e quarto estágio do *A. aegypti*, demonstrando atividade larvicida e identificando compostos químicos de interesse entomológico.

O uso de *T. erecta* em estratégias de manejo também pode contribuir para o fortalecimento da agricultura sustentável, uma vez que seu cultivo é de fácil manejo e pode ser integrado a sistemas agroecológicos (MAROTTI et al., 2004).

A presença de compostos como piperitona, limoneno e outros terpenos no óleo essencial de *T. erecta* reforça o interesse da espécie para estudos de atividade inseticida e larvicida. Contudo, a relação entre constituintes químicos específicos e os efeitos biológicos depende da caracterização do óleo avaliado (MARQUES et al., 2011).

Além de *A. aegypti*, diferentes óleos essenciais e espécies vegetais têm sido investigados contra outros mosquitos vetores, evidenciando o interesse crescente por produtos naturais no desenvolvimento de larvicidas de menor persistência ambiental (PAVELA, 2015; AZEVEDO et al., 2023).

Em síntese, o gênero *Tagetes* apresenta interesse para pesquisas voltadas ao controle de *A. aegypti*, especialmente pela presença de compostos bioativos e pela atividade larvicida já descrita para *T. erecta*. O avanço dessa aplicação depende de padronização química, avaliação de eficácia, segurança e viabilidade de produção (MARQUES et al., 2011; PAVELA; BENELLI, 2016).

O potencial de *T. erecta* como fonte de biolarvicidas deve ser analisado em conjunto com fatores como origem do óleo, lote, forma de armazenamento, concentração testada, número de larvas por unidade experimental e condições ambientais do ensaio. Esses elementos interferem diretamente na interpretação de resultados e na comparação com a literatura.

No presente trabalho, o enfoque metodológico foi direcionado aos ensaios com 25 larvas e à estimativa das concentrações letais CL₅₀ e CL₉₀.

1.3. Considerações finais

A revisão da literatura evidenciou que o controle de *A. aegypti* permanece como um importante desafio para a saúde pública, especialmente diante da ampla distribuição do vetor e do desenvolvimento de resistência aos inseticidas utilizados convencionalmente. Nesse contexto, estratégias alternativas e complementares de controle vêm sendo estudadas com o objetivo de ampliar as possibilidades de manejo do vetor e reduzir a dependência de produtos químicos sintéticos.

Entre essas estratégias, destacam-se métodos de controle biológico, como o uso de Bti, a utilização de mosquitos infectados com *Wolbachia* e a atuação de predadores naturais, além da investigação de compostos de origem vegetal. Os óleos essenciais apresentam interesse nesse cenário devido à presença de compostos bioativos capazes de exercer diferentes efeitos sobre os insetos, incluindo atividade larvicida.

A literatura consultada demonstra que espécies do gênero *Tagetes*, incluindo *T. erecta* L., apresentam compostos associados à atividade inseticida e larvicida, indicando potencial para estudos direcionados ao controle de *A. aegypti*. Entretanto, fatores como composição química do óleo, concentração utilizada, método de obtenção, condições experimentais e características das populações de mosquitos podem influenciar os resultados, reforçando a necessidade de avaliações experimentais específicas.

Dessa forma, as evidências reunidas neste capítulo fornecem fundamentação para a avaliação experimental do óleo essencial de *T. erecta* sobre larvas de *A. aegypti*, especialmente por meio da determinação das concentrações letais CL50 e CL90. Esses parâmetros permitem avaliar seu potencial larvicida e contribuir para a discussão sobre a utilização de produtos de origem vegetal como possíveis ferramentas complementares às estratégias atualmente empregadas no controle do vetor.

1.4. Referências

- ALPHEY, L. Genetic control of mosquitoes. *Annual Review of Entomology*, v. 59, p. 205-224, 2014.
- AZEVEDO, F. R.; FERREIRA, R. C. A. B.; LEANDRO, C. S.; ARAÚJO, I. M.; TINTINO, S. R. Use of essential oils from plants of Araripe National Forest against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Brazilian Journal of Biology*, v. 83, e275062, 2023.
- CAMPOS, J.; ANDRADE, C. F. S.; et al. Resistance of *Aedes aegypti* populations to temephos in Brazil. *Revista de Saúde Pública*, 2001.

- 276 CARVALHO, D. O.; MCKEMEY, A. R.; GARZIERA, L.; LACROIX, R.; DONNELLY, C.
277 A.; ALPHEY, L.; MALAVASI, A.; CAPURRO, M. L. Suppression of a field population
278 of *Aedes aegypti* in Brazil by sustained release of transgenic male mosquitoes. *PLoS*
279 *Neglected Tropical Diseases*, v. 9, n. 7, e0003864, 2015.
- 280 CAVALCANTI, E. S. B.; MORAIS, S. M.; LIMA, M. A. A.; SANTANA, E. W. P.
281 Larvicidal activity of essential oils from Brazilian plants against *Aedes aegypti* L.
282 *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, v. 99, n. 5, p. 541-544, 2004.
- 283 DONALÍSIO, M. R.; GLASSER, C. M. Vigilância entomológica e controle de vetores do
284 dengue. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 5, n. 3, p. 259-279, 2002.
- 285 FURTADO, R. F.; LIMA, M. G. A.; ANDRADE NETO, M.; BEZERRA, J. N. S.; SILVA,
286 M. G. V. Atividade larvicida de óleos essenciais contra *Aedes aegypti* L. (Diptera:
287 Culicidae). *Neotropical Entomology*, v. 34, n. 5, p. 843-847, 2005.
- 288 HOFFMANN, A. A.; MONTGOMERY, B. L.; POPVANI, J.; et al. Successful establishment
289 of *Wolbachia* in *Aedes* populations to suppress dengue transmission. *Nature*, v. 476, p.
290 454-457, 2011.
- 291 LUNA, J. E. D.; MARTINS, M. F.; ANJOS, A. F.; KUWABARA, E. F.; NAVARRO-SILVA,
292 M. A. Susceptibility of *Aedes aegypti* to temephos and cypermethrin insecticides, Brazil.
293 *Revista de Saúde Pública*, v. 38, n. 6, p. 842-843, 2004.
- 294 MACÊDO, M. E.; CONSOLI, R. A. G. B.; GRANDE, T. S. M.; et al. Screening of *Aedes*
295 *aegypti* larvicidal activity of plant extracts, essential oils and compounds. *Memórias do*
296 *Instituto Oswaldo Cruz*, 1997.
- 297 MARQUES, M. M. M.; MORAIS, S. M.; VIEIRA, I. G. P.; VIEIRA, M. G. S.; SILVA, A. R.
298 A.; ALMEIDA, R. R.; GUEDES, M. I. F. Larvicidal activity of *Tagetes erecta* against
299 *Aedes aegypti*. *Journal of the American Mosquito Control Association*, v. 27, n. 2, p. 156-
300 158, 2011.
- 301 MASSAD, E.; COUTINHO, F. A. B.; BURATTINI, M. N.; LOPEZ, L. F.; STRUCHINER,
302 C. J. A hypothesis for the persistence and periodicity of dengue epidemic. *Bulletin of*
303 *Mathematical Biology*, v. 65, p. 361-373, 2003.
- 304 NASCIMENTO, T. A. Bacillaceae strains effective against *Aedes aegypti* larvae. *Revista*
305 *Brasileira de Entomologia*, v. 68, 2024.
- 306 PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION. *Report on the epidemiological situation of*
307 *dengue in the Americas: epidemiological week 52, 2024*. Washington, D.C.: PAHO,
308 2025.
- 309 PAVELA, R. Essential oils for the development of eco-friendly mosquito larvicides: a review.
310 *Industrial Crops and Products*, v. 76, p. 174-187, 2015.
- 311 PAVELA, R.; BENELLI, G. Essential oils as ecofriendly biopesticides? Challenges and
312 constraints. *Trends in Plant Science*, v. 21, n. 12, p. 1000-1007, 2016.
- 313 SILVA, T. F. P. L. A.; PEIXOTO, H. M.; FREITAS, L. R. S. Trends in dengue incidence and
314 lethality: interrupted time series analysis, Brazil, 2001-2022. *Epidemiologia e Serviços de*
315 *Saúde*, v. 34, e20240424, 2025.
- 316 UTARINI, A.; INDRIYANI, C.; AHMAD, R. A.; et al. Efficacy of *Wolbachia*-infected
317 mosquito deployments for the control of dengue. *New England Journal of Medicine*, v.
318 384, p. 2177-2186, 2021.
- 319 VALLE, D.; BELLINATO, D. F.; MARTINS, A. J.; LIMA, J. B. P. Resistance to temephos

- 320 and deltamethrin in *Aedes aegypti* from Brazil between 1985 and 2017. *Memórias do*
321 *Instituto Oswaldo Cruz*, v. 114, e180544, 2019.
- 322 WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Dengue and severe dengue*. Geneva: WHO, 2025.
- 323 WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Global vector control response 2017-2030*. Geneva:
324 WHO, 2017.
- 325 ZARA, A. L. S. A.; SANTOS, S. M.; FERNANDES-OLIVEIRA, E. S.; CARVALHO, R. G.;
326 COELHO, G. E. Estratégias de controle do *Aedes aegypti*: uma revisão. *Epidemiologia e*
327 *Serviços de Saúde*, v. 25, n. 2, p. 391-404, 2016.

328 **Objetivo**

329

330 Avaliar a potencial ação larvicida do óleo essencial de *Tagetes erecta* L. (cravo-de-defunto)
331 sobre larvas de *Aedes aegypti* L., com determinação da CL50 e da CL90 e integração de
332 dados de monitoramento entomológico por ovitrampas no município de Umuarama, a fim de
333 contribuir para o desenvolvimento de alternativas sustentáveis de controle vetorial e redução
334 dos impactos ambientais.

CAPÍTULO 2

ARTIGO

AVALIAÇÃO LARVICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Tagetes erecta* L. (CRAVO-DE-DEFUNTO) SOBRE *Aedes aegypti* L. EM CONDIÇÕES LABORATORIAIS

O presente artigo foi editado de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

RESUMO

O presente estudo avaliou a ação larvicida do óleo essencial (OE) de *Tagetes erecta* L. (cravo-de-defunto) sobre larvas de *Aedes aegypti* L., visando investigar seu potencial como biolarvicida natural. Os ovos utilizados para obtenção das larvas foram provenientes de palhetas de Eucatex coletadas em armadilhas ovitrampa da Vigilância Ambiental de Umuarama. Os bioensaios foram conduzidos em unidades experimentais com 25 larvas de 3º e 4º estágios, sob delineamento inteiramente casualizado, utilizando as concentrações de 250, 300, 350, 400, 450 e 500 $\mu\text{L L}^{-1}$, como controle negativo utilizou-se DMSO a 2%. A mortalidade foi avaliada após 24 h de exposição, e a análise estatística foi direcionada à estimativa da CL90. Observou-se mortalidade nas concentrações testadas, com valores iguais ou superiores a 94% a partir de 250 $\mu\text{L L}^{-1}$ e 100% nas concentrações de 400 a 500 $\mu\text{L L}^{-1}$. A CL90 estimada foi de 271,4 $\mu\text{L L}^{-1}$. Os dados indicam que o OE de *T. erecta* apresenta potencial larvicida relevante, reforçando sua possível aplicação em estudos de manejo ecológico de vetores, desde que associada à padronização do óleo, avaliação de segurança e validação em condições de campo.

Palavras-chave: *Aedes aegypti*; *Tagetes erecta*; larvicida natural; CL50; CL90; ovitrampas; Controle sustentável.

ABSTRACT

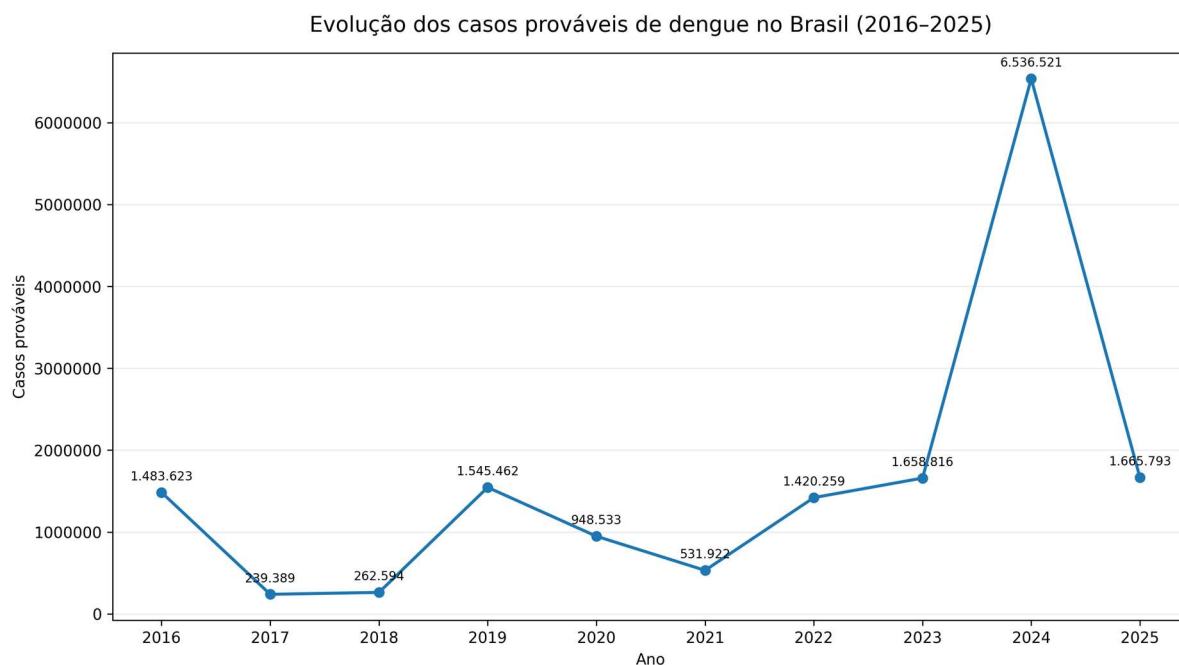
This study evaluated the larvicidal action of *Tagetes erecta* L. (marigold) essential oil (EO) against *Aedes aegypti* L. larvae, aiming to investigate its potential as a natural biolarvicide. The eggs used to obtain larvae came from Eucatex paddles collected in ovitraps monitored by the Environmental Surveillance service of Umuarama. Bioassays were conducted in experimental units with 25 third- and fourth-instar larvae, under a completely randomized design, using concentrations of 250, 300, 350, 400, 450, and 500 $\mu\text{L L}^{-1}$, in addition to the negative control with 2% DMSO. Mortality was assessed after 24 h of exposure, and the statistical analysis focused on estimating LC90. High mortality was observed at the tested concentrations, with values equal to or greater than 94% from 250 $\mu\text{L L}^{-1}$ and 100% at concentrations from 400 to 500 $\mu\text{L L}^{-1}$. The estimated LC90 was 271.4 $\mu\text{L L}^{-1}$. The data indicate that *T. erecta* EO has relevant larvicidal potential, reinforcing its possible application in studies on ecological vector management, provided that oil standardization, safety assessment, and field validation are performed.

Keywords: *Aedes aegypti*; *Tagetes erecta*; natural larvicide; LC50; LC90; ovitrap; sustainable control.

1. INTRODUÇÃO

A dengue permanece como uma das principais arboviroses de importância em saúde pública, apresentando elevada carga epidemiológica, especialmente em países tropicais e subtropicais. A expansão urbana desordenada, a presença de criadouros artificiais, as condições climáticas favoráveis e a circulação de diferentes sorotipos contribuem para a manutenção e expansão da transmissão (DONALÍSIO; GLASSER, 2002; SILVA et al., 2025).

No continente americano, o ano de 2024 apresentou cenário epidêmico expressivo, com elevado número de casos suspeitos e óbitos, demonstrando a necessidade de fortalecimento da vigilância integrada, da resposta local e do controle vetorial baseado em evidências (PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, 2025). No Brasil, a análise da série histórica da última década demonstra importantes oscilações na ocorrência da doença, com períodos de redução seguidos por novos ciclos epidêmicos. Destacam-se os aumentos observados em 2019, 2022 e 2023 e, principalmente, o expressivo crescimento registrado em 2024, quando o país alcançou aproximadamente 6,5 milhões de casos prováveis de dengue (Figura 1).



Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados do Ministério da Saúde.

Figura 1 – Evolução do número de casos prováveis de dengue no Brasil, 2016–2025.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados do Ministério da Saúde.

Em 2025, foram registrados 1.665.793 casos prováveis de dengue no Brasil,

representando redução de 74,5% em relação aos 6.536.521 casos registrados em 2024. Apesar dessa redução, a manutenção de elevado número de casos demonstra que a dengue permanece como importante desafio para a saúde pública brasileira, reforçando a necessidade de ações contínuas de vigilância epidemiológica e entomológica e do desenvolvimento de estratégias complementares para o controle do vetor.

O *Aedes aegypti* é altamente adaptado aos ambientes domiciliar e peridomiciliar. Sua capacidade de oviposição em recipientes artificiais e a resistência dos ovos à dessecação dificultam a eliminação completa do vetor. Nesse contexto, as ovitrampas constituem importantes ferramentas de vigilância entomológica, pois permitem monitorar a atividade de oviposição e contribuir para a identificação de áreas com maior presença do vetor, auxiliando no direcionamento das ações de controle.

As ações de controle vetorial têm sido historicamente baseadas no emprego de inseticidas sintéticos. Entretanto, a resistência a compostos como temefós e deltametrina já foi documentada em populações brasileiras de *A. aegypti*, podendo comprometer a efetividade das ações de controle e reforçando a necessidade de investigação de alternativas ambientalmente mais seguras (LUNA et al., 2004; VALLE et al., 2019).

Entre as estratégias disponíveis e em investigação incluem-se biolarvicidas, como *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti), manejo ambiental de criadouros, educação em saúde, monitoramento por ovitrampas e compostos naturais obtidos de espécies vegetais. Os óleos essenciais destacam-se por apresentarem metabólitos secundários com potencial atividade larvicida, cujos efeitos podem envolver alterações fisiológicas e comportamentais, incluindo letargia, paralisia e morte dos estágios imaturos do mosquito (PAVELA, 2015; PAVELA; BENELLI, 2016).

A espécie *Tagetes erecta* L. (Asteraceae), popularmente conhecida como cravo-de-defunto, apresenta interesse devido à presença de compostos terpênicos associados à atividade inseticida. Estudos anteriores demonstraram atividade larvicida de produtos derivados de *T. erecta* contra larvas de *A. aegypti*, reforçando sua relevância como fonte de compostos bioativos para investigação no controle vetorial (MARQUES et al., 2011).

No contexto local, a utilização de ovitrampas pela Vigilância Ambiental permite acompanhar a atividade de oviposição de *A. aegypti*. A interpretação desses registros deve considerar que o número de ovos coletados representa um indicador da atividade reprodutiva do vetor e não substitui, isoladamente, a avaliação de focos, criadouros e demais indicadores entomológicos. Entretanto, quando associado às ações de campo e à educação em saúde, o monitoramento por ovitrampas pode contribuir para a identificação de áreas prioritárias, o

direcionamento de intervenções e o fortalecimento das estratégias de manejo integrado de vetores (ZARA et al., 2016; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2017).

Diante desse cenário, o presente estudo avaliou a potencial ação larvicida do óleo essencial de *T. erecta* sobre larvas de *A. aegypti*, com ênfase na determinação das concentrações letais CL50 e CL90, relacionando os resultados experimentais ao contexto da vigilância entomológica realizada por meio de ovitrampas em Umuarama, Paraná.

No contexto local, a utilização de ovitrampas pela Vigilância Ambiental permite acompanhar a atividade de oviposição de *A. aegypti* antes que a população adulta aumente de forma perceptível. A interpretação desses registros deve considerar que o número de ovos coletados expressa tendência de atividade reprodutiva e não substitui, isoladamente, a avaliação de focos, criadouros e demais indicadores entomológicos. Ainda assim, quando associado às ações de campo e à educação em saúde, o monitoramento por ovitrampas contribui para priorizar áreas, orientar intervenções e justificar a pesquisa de alternativas larvicidas compatíveis com o manejo integrado de vetores (ZARA et al., 2016; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2017).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local e período de execução

O estudo foi realizado no Laboratório de pesquisas Pré-clínicas de Produtos Naturais e Bioativos, da Universidade Paranaense (UNIPAR), localizado no município de Umuarama, estado do Paraná, entre os meses de março e agosto de 2025. As etapas laboratoriais foram conduzidas nos Laboratórios de Biotecnologia e Entomologia Aplicada da UNIPAR.

O local de execução foi adequado à condução dos bioensaios larvicidas, permitindo controle das condições experimentais, manipulação segura dos organismos e organização das unidades experimentais. As condições ambientais foram mantidas em 25 ± 2 °C, umidade relativa aproximada de $75 \pm 5\%$ e fotoperíodo de 12 h, buscando garantir reprodutibilidade dos ensaios. Além dos bioensaios, foram utilizados dados de monitoramento entomológico obtidos pela Vigilância Ambiental de Umuarama em 2025, referentes a ovos em ovitrampas instaladas no município, considerando uma rede de 200 armadilhas.

2.2. Espécie vegetal

A espécie utilizada neste estudo foi *T. erecta*, popularmente conhecida como cravo-de-

defunto. A seleção da espécie baseou-se em seu potencial bioinseticida descrito na literatura e na presença de compostos voláteis relacionados à atividade larvica sobre os mosquitos vetores (MARQUES et al., 2011; PAVELA, 2015).

2.3. Obtenção do óleo essencial

O óleo essencial de *T. erecta* utilizado nos bioensaios foi adquirido comercialmente, da empresa Perfumoteca Rasão G & E Indústria e Comércio de Cosméticos e Essências Ltda. sob ID do produto MTP/0315, lote RSR940IL0098FGN, com especificação para uso experimental.

A opção pelo óleo comercial ocorreu em razão da impossibilidade de cultivo da espécie no período experimental, diante da ausência de sementes e do tempo necessário para o desenvolvimento fenológico da planta. Após a aquisição, o óleo foi armazenado em frasco âmbar, hermeticamente fechado, protegido da luz e da umidade, sob refrigeração, a fim de reduzir processos de oxidação e degradação dos compostos voláteis.

2.4. Obtenção dos ovos e criação das larvas

As larvas de *A. aegypti* utilizadas nos bioensaios foram obtidas a partir de ovos presentes em palhetas de Eucatex coletadas em armadilhas ovitrampa instaladas e monitoradas pela Vigilância Ambiental de Umuarama (Figura 2).



Figura 2 – Modelo de coleta semanal e total acumulado de ovos em ovitrampas no município de Umuarama. Fonte: Vigilância Ambiental de Umuarama, 2025.

Após o recebimento das palhetas, os ovos foram submetidos à eclosão em água purificada por osmose reversa, e as larvas foram mantidas em recipientes apropriados até atingirem o 3º e 4º estágios. Durante a criação, as larvas foram mantidas em condições

controladas e alimentadas com ração para cães, evitando superpopulação nos recipientes e garantindo padronização do estágio larval antes da transferência para os ensaios de mortalidade.

2.5. Bioensaios larvicidas

Os bioensaios larvicidas foram realizados exclusivamente com unidades experimentais contendo 25 larvas. Foram avaliadas seis concentrações do óleo essencial de *T. erecta*: 250, 300, 350, 400, 450 e 500 $\mu\text{L L}^{-1}$, preparadas em água purificada por osmose reversa com dimetilsulfóxido (DMSO) a 2%. O grupo controle negativo recebeu apenas solução de DMSO a 2%, sem adição do óleo essencial.

Cada tratamento foi conduzido com 25 larvas por unidade experimental, sob delineamento inteiramente casualizado, em recipientes contendo solução suficiente para exposição homogênea dos indivíduos. A mortalidade foi avaliada após 24 horas de contato com o óleo essencial, considerando mortas as larvas sem movimento espontâneo e sem resposta ao estímulo mecânico leve.

2.6. Análise estatística

Os dados de mortalidade foram organizados em planilhas eletrônicas e submetidos à análise estatística. A comparação entre tratamentos foi realizada por análise de variância, seguida de teste de Tukey quando aplicável, adotando-se nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$).

As concentrações letais CL50 e CL90 foram estimadas por regressão Probit, com intervalo de confiança de 95%, a fim de indicar as concentrações associadas à mortalidade de 50% e 90% da população larval exposta.

2.7. Aspectos éticos e biossegurança

Por se tratar de estudo com insetos vetores de interesse em saúde pública, o presente trabalho não exigiu submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa com Animais ou Seres Humanos, conforme Resolução nº 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde (BRASIL, 2012).

A manutenção dos ensaios apenas com 25 larvas por unidade experimental torna o delineamento mais coerente com a leitura final dos dados, pois reduz a influência de variações

individuais e evita comparação entre unidades com tamanhos amostrais distintos.

Dessa forma, os resultados passam a representar exclusivamente a resposta larval obtida em condições padronizadas de exposição, com controle negativo definido e concentrações do óleo essencial distribuídas em faixa compatível com a mortalidade observada. Essa padronização também melhora a rastreabilidade metodológica e facilita a comparação com estudos larvicidas que utilizam unidades experimentais semelhantes (CAVALCANTI et al., 2004; FURTADO et al., 2005).

3. RESULTADOS

Os bioensaios com óleo essencial de *T. erecta* demonstraram elevada mortalidade larval de *A. aegypti* após 24 h de exposição (Figura 3).



Figura 3 – Montagem dos bioensaios larvicidas com 25 larvas. Fonte: o autor, 2025.

Considerando apenas as unidades experimentais com 25 larvas, as concentrações de 250, 300 e 350 $\mu\text{L L}^{-1}$ apresentaram mortalidade entre 94% e 95%, enquanto as concentrações de 400, 450 e 500 $\mu\text{L L}^{-1}$ resultaram em mortalidade de 100% (Tabela 1).

A análise da relação concentração-resposta demonstrou aumento da mortalidade larval com a elevação da concentração do óleo essencial. Nas menores concentrações avaliadas, a mortalidade foi nula ou reduzida, enquanto concentrações mais elevadas produziram aumento expressivo da mortalidade. Os dados obtidos no teste preliminar foram utilizados para orientar a definição da faixa de concentrações posteriormente empregada no bioensaio. Embora os resultados detalhados dessa etapa preliminar tenham sido retirados do texto após as considerações da banca, a relação concentração-mortalidade foi mantida para demonstrar o

comportamento da resposta larvicida.

Tabela 1 – Mortalidade (%) em diferentes concentrações ($\mu\text{L L}^{-1}$) do óleo essencial de *Tagetes erecta* após 24 h na unidade experimental com 25 larvas.

Concentração	Mortalidade
CNL (DMSO 2%)	$0,0 \pm 0,0$ a
CTL 250	$94,0 \pm 4,0$ b
CTL 300	$94,0 \pm 2,0$ b
CTL 350	$95,0 \pm 5,0$ b
CTL 400	$100,0 \pm 0,0$ c
CTL 450	$100,0 \pm 0,0$ c
CTL 500	$100,0 \pm 0,0$ c

Legenda: (CNL) - Controle Negativo de Larvas (solução DMSO 2%); (CTL) - Controle Tratamento de Larvas (óleo essencial de *T. erecta* nas concentrações de 250, 300, 350, 400, 450 e 500 $\mu\text{L L}^{-1}$). Os valores correspondem às médias $\pm$ desvio padrão ($n=25$). Médias seguidas por letras diferentes na linha, indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A análise de Probit indicou CL90 estimada em 271,4 $\mu\text{L L}^{-1}$, evidenciando que a concentração necessária para atingir 90% de mortalidade encontra-se próxima da faixa inicial dos tratamentos com maior efetividade (Figura 4). Esse resultado é coerente com a elevada mortalidade observada a partir de 250 $\mu\text{L L}^{-1}$ e com a mortalidade total nas concentrações iguais ou superiores a 400 $\mu\text{L L}^{-1}$.

Para a estimativa das concentrações letais, foi empregada a análise de regressão Probit, adequada à avaliação de respostas, como mortalidade e sobrevivência. O modelo permitiu estimar a concentração letal mediana (CL50) em 186,70 $\mu\text{L L}^{-1}$ e a concentração letal para 90% da população (CL90) em 271,40 $\mu\text{L L}^{-1}$.

O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9909$) indicou elevado ajuste do modelo aos dados observados, evidenciando forte associação entre o aumento da concentração e a mortalidade das larvas nas condições experimentais avaliadas.

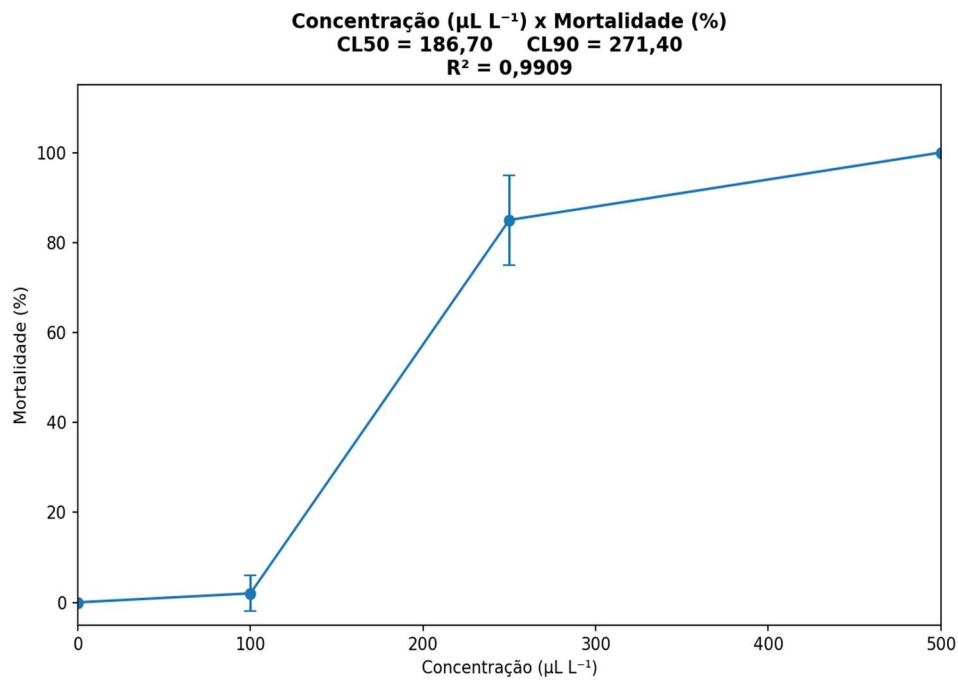


Figura 4 – Relação entre a concentração do óleo essencial e a mortalidade larval, com estimativas de CL50 e CL90 por regressão Probit.

Além dos bioensaios, foram incorporados dados do monitoramento entomológico por ovitrampas no município de Umuarama em 2025. A rede de 200 armadilhas registrou variação semanal expressiva na coleta de ovos, com maior intensidade no início da série e novo aumento nas semanas finais. O total acumulado apresentado no painel de vigilância alcançou 271.441 ovos até a semana epidemiológica 50 (Figuras 5 e 6).

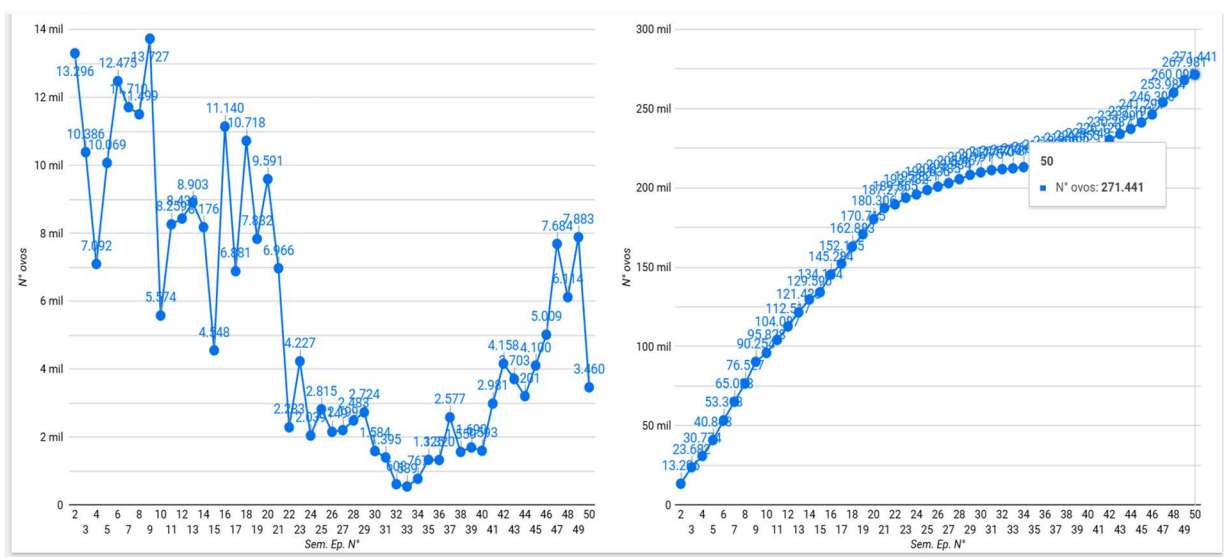


Figura 5 – Coleta semanal e total acumulado de ovos em ovitrampas no ano de 2025, considerando 200 armadilhas no município de Umuarama. Fonte: Vigilância Ambiental de Umuarama, 2025.

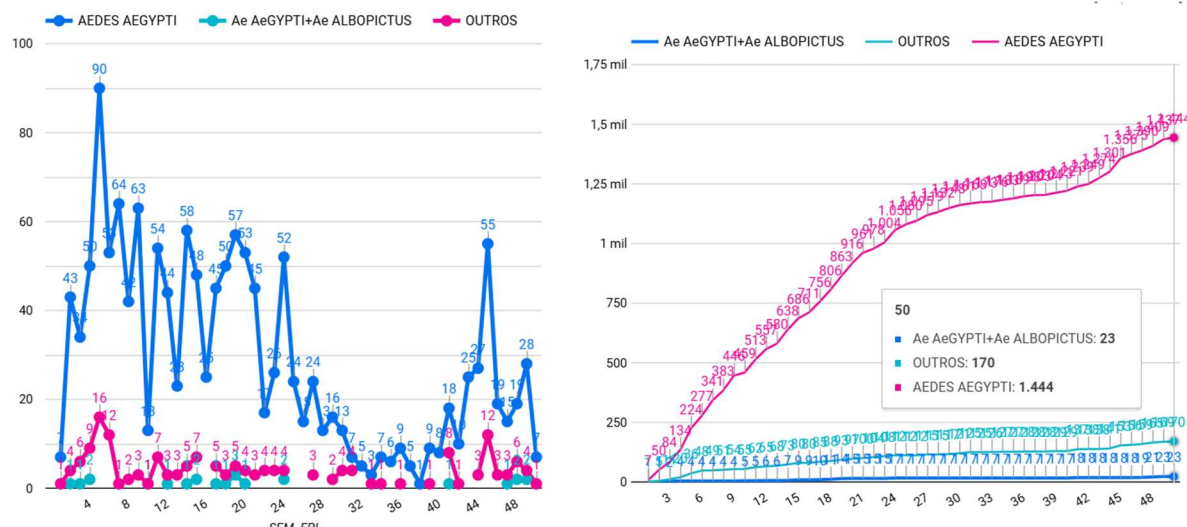


Figura 6 – Gráfico dos focos de *Aedes aegypti* no município de Umuarama em 2025. Fonte: Vigilância Ambiental de Umuarama, 2025.

A inclusão desses dados reforça a relevância do monitoramento por ovitrampas para identificação de períodos de maior atividade reprodutiva do vetor e para planejamento de intervenções de controle larval. Em contextos de alta positividade ou grande acúmulo de ovos, estratégias complementares, como remoção de criadouros e avaliação de biolarvicidas, tornam-se especialmente relevantes.

A leitura integrada dos resultados demonstra que a resposta larvicida aumentou conforme a elevação das concentrações avaliadas. Nesse contexto, a análise conjunta da CL50 e da CL90 permite uma interpretação mais abrangente da atividade larvicida do óleo essencial de *T. erecta*. A CL50 corresponde à concentração estimada capaz de provocar a mortalidade de 50% da população larval, constituindo um parâmetro importante para a avaliação da toxicidade do óleo essencial.

Por sua vez, a CL90 representa a concentração estimada necessária para atingir 90% de mortalidade, sendo particularmente relevante para a discussão do potencial de controle de uma parcela mais elevada da população larval. Dessa forma, a utilização conjunta desses parâmetros contribui para uma interpretação mais consistente da relação concentração–resposta e mantém a coerência entre os objetivos, a metodologia, os resultados e as conclusões do estudo.

A incorporação dos dados de ovitrampas de 2025 amplia a contextualização epidemiológica do estudo, pois relaciona o ensaio laboratorial a uma realidade municipal de vigilância. A rede de 200 armadilhas demonstra que a presença do vetor deve ser acompanhada de maneira contínua, especialmente em períodos de maior coleta de ovos. Nesse sentido, produtos de origem vegetal, como o óleo essencial de *T. erecta*, não devem ser

interpretados como substitutos isolados das medidas já utilizadas, mas como possibilidades complementares que exigem validação química, toxicológica e operacional antes de eventual aplicação em campo.

4. DISCUSSÃO

Nas concentrações testadas nessa unidade (250, 300, 350, 400 e 450 e 500 $\mu\text{L L}^{-1}$), os índices de mortalidade foram elevados, diferindo significativamente do controle negativo. Porém, não foram reportadas diferenças estatísticas robustas entre as concentrações de 250, 300 e 350 $\mu\text{L L}^{-1}$ ($p \geq 0,05$), o que nos permite inferir que o efeito de mortalidade já se encontrava em seu potencial máximo entre essas concentrações. As comparações entre as concentrações maiores; 400, 450 e 500 $\mu\text{L L}^{-1}$, também não demonstraram diferenças significativas entre si, o que também indica uma estabilização do efeito nesses tratamentos.

Ademais, foram observadas diferenças significativas discretas entre parte das concentrações avaliadas ($p = 0,0464$). Nessa unidade experimental, a curva de dose-resposta ajustada apresentou coeficiente de determinação (R^2) de 0,9957, indicando elevado ajuste do modelo aos dados observados no experimento.

Com base nessa significância entre a concentração e a mortalidade das, demonstrada pelos testes acima descritos nas unidades experimentais; 25 larvas, foi realizada a modelagem da relação dose-resposta por meio de regressão Probit, sendo feitos tratamentos para a concentração letal média (CL_{50}) e a concentração letal para 90% da população alvo (CL_{90}), objetivando verificar os efeitos e a dinâmica do óleo nos indivíduos (VALLE et al., 2019).

A concentração associada a 50% do efeito máximo (CL_{50}) foi estimada em 186,7 $\mu\text{L L}^{-1}$ (IC95%), já para 90% (CL_{90}) foi 271,4 $\mu\text{L L}^{-1}$ (IC95%). Ao comparar o valor de CL_{50} obtido no presente estudo (186,7 $\mu\text{L L}^{-1}$) com dados disponíveis na literatura, observa-se que a atividade larvicida do óleo essencial de *T. erecta* pode ser considerada moderada a elevada, dependendo do referencial adotado. Os resultados estão em consonância com estudos que demonstram atividade larvicida de óleos essenciais contra *A. aegypti* e outros mosquitos vetores. No caso de *T. erecta*, Marques et al. (2011) já haviam demonstrado efeito larvicida do óleo essencial sobre larvas de terceiro estágio de *A. aegypti*, relacionando a atividade à presença de compostos voláteis de interesse entomológico.

A atividade larvicida dos óleos essenciais tem sido associada à presença de diferentes compostos bioativos, especialmente monoterpenos e sesquiterpenos. No caso de *T. erecta*, a literatura demonstra variações qualitativas e quantitativas na composição do óleo essencial.

Marques et al. (2011), ao avaliarem o óleo essencial de *T. erecta* contra larvas de terceiro estágio de *A. aegypti*, identificaram 14 compostos por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM), sendo os constituintes majoritários piperitona (45,72%), D-limoneno (9,67%) e piperitenona (5,89%). No mesmo estudo, foram estimadas CL50 de 79,78 µg/mL e CL90 de 100,84 µg/mL, demonstrando atividade larvicida da espécie.

Outros estudos reforçam a variabilidade química do óleo essencial de *T. erecta*. Krishna et al. (2004) observaram, no óleo das folhas, piperitona (52,4%), terpinoleno (11,2%), limoneno (7,6%) e piperitenona (5,0%); nas flores, foram encontrados piperitona (28,5%), piperitenona (10,9%), limoneno (6,9%) e β-cariofileno (7,0%), entre outros constituintes. Essa variação demonstra que a composição química pode ser influenciada pela parte vegetal utilizada e pelas condições de obtenção do óleo, além de fatores geográficos e ambientais descritos na literatura.

Ao comparar esses achados com os resultados do presente estudo, no qual foram estimadas CL50 de 186,70 e CL90 de 271,40, observa-se diferença em relação aos valores relatados por Marques et al. (2011). Entretanto, essa comparação deve ser realizada com cautela e somente após a confirmação de que as concentrações estão expressas na mesma unidade. Além disso, diferenças na composição química do óleo, na procedência do material vegetal, no método de extração, no estágio e na origem das larvas e nas condições experimentais podem influenciar a resposta larvicida. Dessa forma, valores distintos de CL50 e CL90 entre estudos não devem ser interpretados isoladamente como maior ou menor eficácia sem considerar essas diferenças metodológicas e químicas.

A utilização de óleo essencial comercial no presente estudo possibilitou trabalhar com um produto de procedência identificada e rastreável, registrado por meio das informações de lote e nota fiscal. Considerando que a composição química dos óleos essenciais de *T. erecta* pode variar de acordo com fatores como origem do material vegetal, parte da planta utilizada, condições de cultivo e método de extração, a caracterização química do lote empregado constitui uma etapa importante para a continuidade da investigação.

Estudo com *T. erecta* demonstram a presença de constituintes como piperitona, limoneno, piperitenona, terpinoleno e β-cariofileno, com variações quantitativas entre folhas e flores (KRISHNA et al., 2004). Dessa forma, a caracterização por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM) poderá contribuir para relacionar os compostos presentes no óleo às concentrações letais e à atividade larvicida observada.

Do ponto de vista produtivo, estudos demonstram que *T. erecta* apresenta

características de interesse para a obtenção de óleo essencial, embora o rendimento possa variar conforme a parte vegetal, as condições de cultivo e o método de extração. Marotti et al. (2004), ao avaliarem diferentes espécies do gênero *Tagetes* cultivadas no norte da Itália, observaram que *T. erecta* apresentou produção de flores de aproximadamente 7,3 t ha⁻¹, destacando-se entre as espécies estudadas. Os autores também verificaram que, de modo geral, a produção de material fresco das folhas foi superior à das flores e realizaram a obtenção dos óleos por destilação a vapor, seguida de análise por cromatografia gasosa e CG-EM.

Esses resultados indicam disponibilidade relevante de biomassa vegetal para estudos de produção de óleo essencial em maior escala. Entretanto, a determinação de sua viabilidade comercial como produto larvicida requer avaliações específicas de rendimento de óleo por unidade de biomassa, custos de cultivo e extração, padronização química, estabilidade da formulação, segurança e eficácia em condições de campo.

Outro ponto relevante é a incorporação dos dados de ovitrampas. O monitoramento de ovos permite visualizar a dinâmica reprodutiva do vetor ao longo das semanas epidemiológicas, fornecendo subsídios para ações preventivas. O acumulado de 271.441 ovos em 2025, considerando 200 armadilhas, evidencia a importância da vigilância entomológica local como base para decisões de controle.

As ovitrampas não substituem as ações de eliminação de criadouros, mas funcionam como ferramenta complementar de vigilância. Sua associação a estratégias de controle larval, educação em saúde e monitoramento de focos pode contribuir para respostas mais rápidas e territorializadas, especialmente em períodos de maior atividade do vetor.

Os biolarvicidas, como aqueles à base de Bti, constituem uma alternativa biológica empregada no controle das formas imaturas de mosquitos, incluindo *Aedes aegypti*. O Bti é uma bactéria entomopatogênica que, durante a esporulação, produz inclusões cristalinas contendo proteínas inseticidas, principalmente das famílias Cry e Cyt. Após serem ingeridos pelas larvas, os cristais são solubilizados no ambiente alcalino do intestino, e as protoxinas são ativadas por enzimas digestivas. As toxinas ativas interagem com as células do epitélio intestinal, promovendo a formação de poros e danos à membrana celular, comprometendo a integridade do intestino e levando à morte larval.

A ação conjunta das proteínas Cry e Cyt contribui para a elevada atividade larvicida do Bti e para sua seletividade em relação a determinados grupos de dípteros. Por essas características, produtos à base de Bti são utilizados em estratégias de manejo integrado de vetores e são recomendados pelo Ministério da Saúde para o controle de *A. aegypti*,

especialmente como medida complementar em criadouros que não podem ser eliminados ou manejados de outra forma (ZARA et al., 2016; NASCIMENTO, 2024). Os fitoderivados, como óleos essenciais, devem ser compreendidos como ferramentas complementares dentro do manejo integrado de vetores. A adoção de compostos naturais não elimina a necessidade de avaliação toxicológica, padronização da formulação, análise de estabilidade e validação em campo.

Dessa forma, o presente estudo contribui ao demonstrar a resposta larvicida do óleo essencial de *T. erecta* em ensaios com 25 larvas e ao relacionar os resultados laboratoriais com dados locais de vigilância por ovitrampas. Pesquisas futuras devem incluir caracterização química do óleo por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas, avaliação de organismos não-alvo e testes em condições ambientais controladas e de campo.

Do ponto de vista do manejo integrado de vetores, os resultados obtidos devem ser interpretados com cautela, uma vez que a elevada mortalidade observada em condições laboratoriais demonstra o potencial larvicida do óleo essencial de *T. erecta*, mas não garante, por si só, sua eficácia em condições de campo. Em ambientes naturais, fatores como temperatura, exposição solar, presença de matéria orgânica e características dos criadouros podem interferir na estabilidade e na atividade do produto.

Dessa forma, antes de considerar sua aplicação prática, são necessários estudos complementares que incluam a caracterização química do óleo, a padronização e a avaliação da estabilidade da formulação, a investigação de possíveis efeitos sobre organismos não-alvo e a realização de ensaios em condições que representem mais adequadamente os criadouros naturais de *A. aegypti*. Essas etapas são fundamentais para determinar a eficácia, a segurança e a viabilidade de utilização do óleo essencial como uma possível ferramenta complementar às estratégias já empregadas no manejo integrado do vetor.

A origem dos ovos por meio de ovitrampas da Vigilância Ambiental de Umuarama é outro elemento essencial de rastreabilidade. As palhetas coletadas em campo representam uma conexão direta entre a pesquisa laboratorial e a vigilância entomológica municipal. A eclosão e criação das larvas em condições controladas permitiram padronizar o estágio de desenvolvimento antes da exposição ao óleo essencial, reduzindo variações que poderiam interferir na resposta biológica observada.

Os dados de ovitrampas de 2025, com 200 armadilhas distribuídas no município, também ajudam a justificar a relevância local da investigação. A variação semanal da coleta de ovos evidencia que a dinâmica de reprodução do vetor não é constante ao longo do ano e pode apresentar períodos de maior intensidade. Por isso, a interpretação dos bioensaios deve

ser associada ao monitoramento contínuo, à eliminação de criadouros e às ações educativas, compondo uma abordagem integrada e tecnicamente mais segura.

A análise conjunta da CL50 e da CL90 permite caracterizar diferentes níveis da resposta larvicida. A CL50 representa a concentração estimada para provocar mortalidade de 50% da população exposta, enquanto a CL90 corresponde à concentração estimada para atingir 90% dos indivíduos. No presente estudo, a consideração de ambos os parâmetros contribui para descrever a relação dose-resposta, sendo a CL90 especialmente relevante para discutir concentrações associadas a elevada mortalidade larval.

Dessa forma, embora o valor de CL₅₀ encontrado não represente o mais baixo entre os óleos essenciais descritos na literatura, ele se mostra suficientemente eficaz do ponto de vista biológico, sobretudo quando considerado em conjunto com fatores como disponibilidade da espécie, rendimento de óleo essencial e baixa toxicidade ambiental. Esses aspectos reforçam o potencial de *T. erecta* como alternativa viável e sustentável no controle de larvas de *A. aegypti*.

Os resultados dos bioensaios serviram como base para correlação entre a atividade biológica e os constituintes químicos do óleo essencial, permitindo inferir sobre o potencial biotecnológico da *T. erecta* (ZARA et al., 2016).

A atividade larvicida observada a partir da concentração de 250 µL L⁻¹ evidencia o potencial do óleo essencial de *T. erecta* como fonte de compostos bioativos para o controle de *A. aegypti*. Esse resultado assume relevância diante da ocorrência de populações do vetor resistentes a larvicidas químicos convencionalmente utilizados, como o temefós, cuja utilização prolongada pode exercer pressão seletiva e favorecer a seleção de indivíduos resistentes. Nesse contexto, a investigação de produtos de origem vegetal pode contribuir para o desenvolvimento de estratégias alternativas ou complementares ao manejo integrado do vetor (LUNA et al., 2004; VALLE et al., 2019).

A literatura descreve que óleos essenciais podem atuar por diferentes vias sobre larvas de mosquitos, incluindo alterações fisiológicas e comportamentais. Entretanto, como mecanismos específicos não foram avaliados diretamente no presente estudo, a mortalidade observada deve ser interpretada como resposta à exposição ao óleo, sem atribuição conclusiva a uma única via de ação (PAVELA, 2015; PAVELA; BENELLI, 2016).

Dessa forma, possíveis alterações na integridade cuticular, na respiração ou no sistema nervoso devem ser consideradas hipóteses mecanísticas descritas para compostos de origem vegetal, cuja confirmação para o óleo utilizado neste estudo requer análises específicas e caracterização química do produto (PAVELA, 2015).

Em estudo realizado por Furtado et al. (2005), foi avaliada a atividade larvívora de diferentes óleos essenciais sobre larvas de *A. aegypti*, sendo demonstrado que os produtos testados apresentaram diferentes níveis de toxicidade após 24 h de exposição e identificaram diferentes constituintes químicos nos óleos avaliados, evidenciando que a atividade larvívora pode estar relacionada à composição química e à possível interação entre seus componentes. Esses resultados reforçam o potencial dos óleos essenciais como fonte de substâncias bioativas para o controle larval, embora os mecanismos responsáveis pela mortalidade possam variar conforme a composição do óleo e as condições experimentais.

Durante os bioensaios do presente estudo, foram observadas alterações comportamentais nas larvas expostas às maiores concentrações, principalmente redução da mobilidade e letargia. Achados dessa natureza são compatíveis com respostas descritas para larvas expostas a óleos essenciais, embora o mecanismo responsável não possa ser definido apenas pela observação comportamental (FURTADO et al., 2005; PAVELA, 2015).

Essas alterações comportamentais, associadas à mortalidade observada, reforçam a atividade biológica do óleo essencial de *T. erecta*. Contudo, a identificação dos processos fisiológicos envolvidos requer estudos específicos, uma vez que óleos essenciais constituem misturas complexas e podem atuar por múltiplos mecanismos (PAVELA, 2015; PAVELA; BENELLI, 2016).

Em estudo realizado por Furtado et al. (2005), diferentes óleos essenciais apresentaram atividade larvívora sobre *A. aegypti*, com variação da toxicidade de acordo com o óleo avaliado. Esses resultados reforçam que a resposta biológica aos óleos essenciais depende de sua composição química e das condições experimentais, não sendo adequado atribuir o efeito observado no presente estudo a um único mecanismo de ação.

É importante considerar que os óleos essenciais são misturas complexas de compostos bioativos e podem apresentar diferentes mecanismos de ação sobre insetos. Assim, possíveis efeitos sobre processos fisiológicos e comportamentais devem ser tratados como hipóteses a serem investigadas especificamente para o óleo de *T. erecta* utilizado neste estudo (PAVELA, 2015; PAVELA; BENELLI, 2016).

Durante o período de exposição de 24 h adotado neste estudo, as observações comportamentais foram utilizadas como apoio à avaliação da mortalidade larval. A interpretação desses sinais deve permanecer associada ao desfecho experimental e não permite, isoladamente, concluir sobre alterações metabólicas específicas ou sobre a persistência ambiental do óleo.

A avaliação da estabilidade físico-química do óleo e de sua persistência no meio

aquático constitui uma etapa importante para estudos futuros, especialmente para o desenvolvimento de formulações destinadas a condições de campo (PAVELA; BENELLI, 2016).

A composição química descrita na literatura para *T. erecta* apresenta variações importantes entre diferentes materiais vegetais. Marques et al. (2011) identificaram piperitona, D-limoneno e piperitenona entre os principais constituintes do óleo avaliado, enquanto Krishna et al. (2004) relataram diferenças quantitativas entre folhas e flores. Esses dados reforçam a importância da caracterização química específica do lote utilizado em estudos futuros.

A piperitona aparece entre os constituintes majoritários descritos para o óleo essencial de *T. erecta* em estudos de composição química. Entretanto, como o lote comercial utilizado no presente trabalho não foi caracterizado por CG-EM, não é possível determinar a proporção desse composto nem atribuir a ele, isoladamente, a atividade larvícida observada (MARQUES et al., 2011; KRISHNA et al., 2004).

A atividade dos óleos essenciais pode resultar da ação conjunta de diferentes constituintes, e não necessariamente de um composto isolado. Essa característica reforça a importância da caracterização química do óleo e da investigação das possíveis interações entre seus componentes em estudos posteriores (PAVELA, 2015; PAVELA; BENELLI, 2016).

A utilização ambiental de óleos essenciais deve ser analisada considerando sua volatilidade, estabilidade, persistência e possíveis efeitos sobre organismos não-alvo. Embora sejam frequentemente investigados como alternativas de origem vegetal, sua segurança não deve ser presumida e requer avaliação específica antes de aplicações em campo (PAVELA; BENELLI, 2016).

A avaliação de organismos não-alvo constitui, portanto, uma etapa necessária para o desenvolvimento de formulações larvicidas à base de óleos essenciais. Essa abordagem permite verificar se a atividade sobre o vetor pode ser obtida sem efeitos ambientais indesejáveis e contribui para uma análise mais completa da segurança do produto (PAVELA; BENELLI, 2016).

A variabilidade na composição química observada entre diferentes amostras de *T. erecta* pode ser explorada em programas de melhoramento genético, visando à seleção de quimiotipos mais ricos em compostos ativos. Essa abordagem é recomendada por ZARA et al. (2016) como estratégia para aumentar a eficácia de produtos fitossanitários naturais.

Os resultados obtidos reforçam o potencial de *T. erecta* como fonte de compostos

bioativos de interesse para pesquisas em controle larval. A elevada mortalidade observada em laboratório justifica a continuidade dos estudos, especialmente quanto à caracterização química, segurança para organismos não-alvo, estabilidade e validação em condições de campo.

De modo geral, os achados deste estudo corroboram pesquisas que destacam os óleos essenciais como fontes de compostos bioativos com potencial para o manejo de mosquitos. Os resultados também reforçam a importância da integração entre estudos químicos e entomológicos para compreender a composição, a estabilidade e a atividade dos produtos avaliados (CAVALCANTI et al., 2004; PAVELA, 2015).

A investigação de produtos naturais pode contribuir para ampliar as ferramentas disponíveis no manejo integrado de vetores, desde que sua adoção seja fundamentada em evidências de eficácia, segurança e viabilidade operacional. Nesse contexto, a Organização Mundial da Saúde recomenda abordagens integradas, combinando vigilância, diferentes métodos de controle e avaliação contínua das intervenções (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2017).

Em síntese, a discussão evidencia que os resultados alcançados confirmam a atividade larvicida de *T. erecta* nas condições laboratoriais avaliadas e justificam a continuidade das pesquisas. A possível aplicação em saúde pública depende de estudos adicionais de padronização, segurança e validação em condições de campo (PAVELA; BENELLI, 2016; ZARA et al., 2016).

Portanto, o presente estudo contribui para o conhecimento sobre o potencial biotecnológico de *T. erecta* ao demonstrar atividade larvicida nas condições laboratoriais avaliadas. Os resultados sustentam a continuidade da investigação do óleo essencial como possível ferramenta complementar ao manejo integrado de *A. aegypti*, condicionada à realização de estudos adicionais de caracterização, segurança, formulação e eficácia em campo.

A utilização de óleo essencial comercial possibilitou trabalhar com um produto de procedência identificada e rastreável por lote e nota fiscal. Como continuidade da pesquisa, a caracterização química específica do lote por CG-EM, juntamente com estudos de estabilidade, segurança para organismos não-alvo e validação em condições de campo, permitirá relacionar com maior precisão a composição do óleo à atividade larvicida observada e avaliar sua viabilidade para futuras formulações.

5. CONCLUSÃO

O óleo essencial de *T. erecta* apresentou elevada atividade larvica contra *Aedes aegypti* L. nas condições laboratoriais avaliadas, com mortalidade igual ou superior a 94% nas concentrações testadas a partir de 250 $\mu\text{L L}^{-1}$ e mortalidade total nas concentrações de 400, 450 e 500 $\mu\text{L L}^{-1}$.

As concentrações letais estimadas, CL50 de 186,7 $\mu\text{L L}^{-1}$ e CL90 de 271,4 $\mu\text{L L}^{-1}$, caracterizam a relação dose-resposta observada e reforçam o potencial biológico do óleo essencial como objeto de investigação para o desenvolvimento de alternativas complementares de controle larval.

Os resultados obtidos neste estudo confirmam que o óleo essencial de *T. erecta* apresenta elevado potencial larvica e efeito inibitório sobre a atividade metabólica de *A. aegypti*. As altas taxas de mortalidade observadas nas maiores concentrações demonstram sua eficiência e sugerem aplicabilidade prática como bioinseticida natural.

O presente estudo reforça, deste modo, a viabilidade técnica da *T. erecta* como matéria-prima para o desenvolvimento de formulações fitoinseticidas, podendo ser empregada em estratégias de controle integrado de vetores e na atenção básica à saúde.

Conclui-se que *T. erecta* apresenta potencial como fonte de compostos larvicidas de origem vegetal. Contudo, recomenda-se a continuidade dos estudos com padronização química do óleo, avaliação de segurança ambiental e validação em condições de campo, para que sua aplicação em programas de manejo integrado de vetores seja tecnicamente fundamentada.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, F. R.; FERREIRA, R. C. A. B.; LEANDRO, C. S.; ARAÚJO, I. M.; TINTINO, S. R. Use of essential oils from plants of Araripe National Forest against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Brazilian Journal of Biology*, v. 83, e275062, 2023.
- BRASIL. Conselho Nacional de Saúde. *Resolução n° 466, de 12 de dezembro de 2012*. Dispõe sobre diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2012.
- BRASIL. Ministério da Saúde. *Boletim Epidemiológico*, v. 55, n. 11. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2024.

- 607 CAVALCANTI, E. S. B.; MORAIS, S. M.; LIMA, M. A. A.; SANTANA, E. W. P.
 608 Larvicidal activity of essential oils from Brazilian plants against *Aedes aegypti* L.
 609 *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, v. 99, n. 5, p. 541-544, 2004.
- 610 DONALÍSIO, M. R.; GLASSER, C. M. Vigilância entomológica e controle de vetores do
 611 dengue. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 5, n. 3, p. 259-279, 2002.
- 612 FURTADO, R. F.; LIMA, M. G. A.; ANDRADE NETO, M.; BEZERRA, J. N. S.; SILVA,
 613 M. G. V. Atividade larvica de óleos essenciais contra *Aedes aegypti* L. (Diptera:
 614 Culicidae). *Neotropical Entomology*, v. 34, n. 5, p. 843-847, 2005.
- 615 KRISHNA, A.; KUMAR, S.; MALLAVARAPU, G. R.; RAMESH, S. Composition of the
 616 essential oils of the leaves and flowers of *Tagetes erecta* L. *Journal of Essential Oil*
 617 *Research*, v. 16, n. 6, p. 520-522, 2004. DOI: 10.1080/10412905.2004.9698786.
- 618 LUNA, J. E. D.; MARTINS, M. F.; ANJOS, A. F.; KUWABARA, E. F.; NAVARRO-SILVA,
 619 M. A. Susceptibility of *Aedes aegypti* to temephos and cypermethrin insecticides, Brazil.
 620 *Revista de Saúde Pública*, v. 38, n. 6, p. 842-843, 2004.
- 621 MAROTTI, M.; PICCAGLIA, R.; BIAVATI, B.; MAROTTI, I. Characterization and yield
 622 evaluation of essential oils from different *Tagetes* species. *Journal of Essential Oil*
 623 *Research*, v. 16, n. 5, p. 440-444, 2004. DOI: 10.1080/10412905.2004.9698767.
- 624 MARQUES, M. M. M.; MORAIS, S. M.; VIEIRA, I. G. P.; et al. Larvicidal activity of
 625 *Tagetes erecta* against *Aedes aegypti*. *Journal of the American Mosquito Control*
 626 *Association*, v. 27, n. 2, p. 156-158, 2011.
- 627 NASCIMENTO, T. A. Bacillaceae strains effective against *Aedes aegypti* larvae. *Revista*
 628 *Brasileira de Entomologia*, v. 68, 2024.
- 629 PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION. *Report on the epidemiological situation of*
 630 *dengue in the Americas: epidemiological week 52, 2024*. Washington, D.C.: PAHO,
 631 2025.
- 632 PAVELA, R. Essential oils for the development of eco-friendly mosquito larvicides: a review.
 633 *Industrial Crops and Products*, v. 76, p. 174-187, 2015.
- 634 PAVELA, R.; BENELLI, G. Essential oils as ecofriendly biopesticides? Challenges and
 635 constraints. *Trends in Plant Science*, v. 21, n. 12, p. 1000-1007, 2016.
- 636 SILVA, T. F. P. L. A.; PEIXOTO, H. M.; FREITAS, L. R. S. Trends in dengue incidence and

- 637 lethality: interrupted time series analysis, Brazil, 2001-2022. *Epidemiologia e Serviços de*
638 *Saúde*, v. 34, e20240424, 2025.
- 639 VALLE, D.; BELLINATO, D. F.; MARTINS, A. J.; LIMA, J. B. P. Resistance to temephos
640 and deltamethrin in *Aedes aegypti* from Brazil between 1985 and 2017. *Memórias do*
641 *Instituto Oswaldo Cruz*, v. 114, e180544, 2019.
- 642 WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Global vector control response 2017-2030*. Geneva:
643 WHO, 2017.
- 644 ZARA, A. L. S. A.; SANTOS, S. M.; FERNANDES-OLIVEIRA, E. S.; CARVALHO, R. G.;
645 COELHO, G. E. Estratégias de controle do *Aedes aegypti*: uma revisão. *Epidemiologia e*
646 *Serviços de Saúde*, v. 25, n. 2, p. 391-404, 2016.