

**INSTITUTO AGRONÔMICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
AGRICULTURA TROPICAL E SUBTROPICAL**

**Parâmetros demográficos de *Diaphorina Citri* Kuwayama
(Hemiptera: Psyllidae) sob aplicação de inseticidas
químicos e biológico**

EDUARDO LATARINI NETO

Orientador: Dr. Fernando Alves de Azevedo
Coorientador: Dr. Rodrigo Martinelli

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, do Instituto Agrônomo (IAC), como requisito para a obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical, Área de Concentração em Sistemas de Manejo e Qualidade Ambiental (SMQA).

**Campinas, SP
2026**

Ficha elaborada pela bibliotecária do Seção de Documentação Científica do Instituto Agronômico

L351p Latarini Neto, Eduardo
Parâmetros demográficos de *Diaphorina Citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) sob aplicação de inseticidas químicos e biológico / Eduardo Latarini Neto. Campinas, 2026. 50 fls.

Orientador: Fernando Alves de Azevedo

Coorientador: Rodrigo Martinelli

Dissertação (Mestrado) Agricultura Tropical e Subtropical – Instituto Agronômico

1. Citros - doenças. 2. Huanglongbing. 3. Tabela de vida. 4. Dinâmica Populacional. I. Azevedo, Fernando Alves de. II. Martinelli, Rodrigo. III. Título

CDD.634.304



GOVERNO DO ESTADO DE SAO PAULO
SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO AGRONÔMICO



Pós-Graduação – Agricultura Tropical e Subtropical
Reconhecimento Homologado pela Portaria MEC Nº 609 de 14/03/2019 - D.O.U. 18/03/2019

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Aos 24 de março de 2026, às 14h00, reuniu-se a banca examinadora homologada pelo Programa de Pós- Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, composta pelos membros abaixo listados visando à defesa de dissertação de mestrado de Eduardo Latarini Neto, para obtenção do título de "MESTRE", conforme Processo SAA nº PRT6965/2024-02. A sessão de defesa foi realizada em formato híbrido, sob a presidência do Prof. Dr. Fernando Alves de Azevedo, orientador do aluno, em sessão pública aberta. Iniciados os trabalhos, o candidato submeteu-se ao exame de sua dissertação, intitulada "Parâmetros demográficos de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) sob aplicação de inseticidas". Terminado o exame, procedeu-se ao julgamento, cujo resultado foi o seguinte:

Prof. Dr. Fernando Alves de Azevedo - IAC	APROVADO <input checked="" type="checkbox"/>	REPROVADO ()
Profª. Drª. Valdenice Moreira Novelli - IAC	APROVADO <input checked="" type="checkbox"/>	REPROVADO ()
Prof. Dr. Wellington Ivo Eduardo - Fundecitrus	APROVADO <input checked="" type="checkbox"/>	REPROVADO ()

Apurados os resultados, constatou-se que o candidato foi habilitado, fazendo jus, portanto, ao título de "MESTRE EM AGRICULTURA TROPICAL E SUBTROPICAL", na área de concentração: Sistema de Manejo e Qualidade Ambiental, do que, para constar, lavrou-se a presente ata, assinada pelos membros da comissão examinadora:

Prof. Dr. Fernando Alves de Azevedo - IAC

Profª. Drª. Valdenice Moreira Novelli - IAC

Prof. Dr. Wellington Ivo Eduardo – Fundecitrus (participação remota)

Documento assinado digitalmente
gov.br WELLINGTON IVO EDUARDO
Data: 25/03/2026 17:42:53-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa, Julia da Fonseca Cerri, pelo amor, companheirismo e apoio incondicional ao longo desta jornada.

À minha filha, Geórgia Cerri Latarini, que diariamente me inspira e dá ainda mais sentido a cada conquista.

E aos meus pais, João Francisco Latarini e Micheline Ribeiro Dezotti, por todo o amor, ensinamentos e incentivo que tornaram possível a realização deste sonho.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa, Julia da Fonseca Cerri, pelo amor, companheirismo e apoio incondicional durante toda essa caminhada. Sua paciência, incentivo e compreensão foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

À minha filha, Geórgia Cerri Latarini, que com sua alegria e carinho torna meus dias mais leves e me inspira a buscar sempre o melhor.

Aos meus pais, João Francisco Latarini e Micheline Ribeiro Dezotti, por todo o amor, dedicação e pelos valores que me ensinaram ao longo da vida. Sou eternamente grato por todo o apoio e incentivo aos meus estudos.

Ao meu orientador, Fernando Alves de Azevedo, e ao coorientador Rodrigo Martinelli, pela orientação, confiança e pelos valiosos ensinamentos ao longo deste trabalho, contribuindo significativamente para minha formação científica e profissional.

Aos colegas do Laboratório de Fitossanidade do Centro de Citricultura Sylvio Moreira, pelo auxílio nas atividades experimentais, pelas discussões e pelo companheirismo no dia a dia de trabalho.

Ao Centro de Citricultura Sylvio Moreira do Instituto Agrônomo (CCSM/IAC) e ao programa de pós-graduação, pela infraestrutura, suporte institucional e pelas oportunidades de desenvolvimento acadêmico proporcionadas durante este período.

SÚMARIO

1. INTRODUÇÃO.....	3
HIPÓTESE	4
OBJETIVOS.....	4
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. Importância da citricultura no Brasil e no mundo	5
2.2. Huanglongbing (HLB): etiologia, epidemiologia e impactos	7
2.3. <i>Diaphorina citri</i>	11
2.3.1. Biologia e dinâmica populacional	11
2.3.2. <i>Diaphorina citri</i> como vetor do LHB.....	13
2.3.3. Estratégias de manejo	15
2.3.4. Controle químico	17
2.3.5. Resistência a inseticidas	18
2.3.6. Controle biológico	20
2.4.1. Malationa	21
2.4.2. Ciantraniliprole	23
2.4.3. <i>Cordyceps fumosorosea</i>	25
2.4.4. Piriproxifem.....	27
2.4.5. Buprofezina.....	28
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.11. ANÁLISE DOS RESULTADOS	36
4. RESULTADOS	37
5. DISCUSSÃO	41
6. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	45
7. CONCLUSÃO.....	45
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição dos tratamentos utilizados no experimento, contendo ingrediente ativo, produto comercial, grupo químico segundo a classificação do IRAC (Insecticide Resistance Action Committee) e concentração da calda expressa em mL 100 L ⁻¹ de água.....	31
Tabela 2. Tabela de vida de <i>Diaphorina citri</i> nos diferentes tratamentos. Duração média da geração (T) em dias, taxa líquida de reprodução (R ₀), capacidade reprodutiva (r _m) e taxa finita de aumento (λ).....	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sintoma típico do HLB em laranjeira-doce	8
Figura 2. Sintoma típico do HLB em laranjeira-doce	9
Figura 3. Comparativo de frutos afetados com frutos não afetados	10
Figura 4. Sala de criação de insetos do Centro de Citricultura Sylvio Moreira – IAC (Cordeirópolis – 2026).	30
Figura 5. Gaiola/tela de <i>voil</i> para confinamento de indivíduos vivos de <i>Diaphorina citri</i> em ramos novos e folhas jovens de plantas de citros. Fotos: Dr. Rodrigo Martinelli.....	32
Figura 6. (A) Adultos de <i>Diaphorina citri</i> utilizados para a separação por sexo com base nas características morfológicas externas observadas sob estereomicroscópio. (B) Adultos machos de <i>D. citri</i> marcados com pó fluorescente e liberados sobre plantas de citros para a realização dos experimentos.	33
Figura 7. Valores médios de mortalidade de <i>Diaphorina citri</i> nos diferentes tratamentos aos três dias após a aplicação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). As barras de erro representam o erro padrão da média. R%: mortalidade relativa à testemunha.	37
Figura 8. Número médio de ovos por fêmea por dia de <i>D. citri</i> submetidas a diferentes tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). As barras de erro representam o erro padrão da média. R%: redução percentual relativa à testemunha	38
Figura 9. Valores médios de viabilidade dos ovos (A) e ninfas (B) de <i>Diaphorina citri</i> nos diferentes tratamentos da prole da população. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). As barras de erro representam o erro padrão da média. R%: mortalidade relativa à testemunha	39
Figura 10. Longevidade em dias da população sobrevivente de <i>Diaphorina citri</i> submetida a aplicação dos diferentes tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). As barras de erro representam o erro padrão da média. R%: diferença relativa à testemunha	40
Figura 11. Projeção do crescimento populacional de <i>Diaphorina citri</i> ao longo de gerações estimada a partir da taxa líquida de reprodução (R_0) obtida na tabela de vida para os diferentes tratamentos. A projeção foi calculada considerando uma população inicial de 100 indivíduos (N_0) e utilizando a equação $N_t = N_0 \times R_0^t$. Os valores do eixo Y representam \log_{10} do número	

estimado de indivíduos ao longo das gerações. As linhas representam a projeção central com base no R_0 médio bootstrap, e as faixas sombreadas indicam o intervalo de confiança de 95% BCa obtido com 1.000 reamostras (Meyer et al. 1986). A linha tracejada indica $N_0 = 100$41

Parâmetros demográficos de *Diaphorina Citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) sob aplicação de inseticidas químicos e biológico

RESUMO

O *huanglongbing* (HLB) é considerado a doença mais destrutiva da citricultura mundial e sua disseminação está diretamente associada ao psílideo-dos-citros, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae). Como não existem variedades comerciais de citros resistentes à doença, o manejo do vetor baseia-se principalmente no uso de inseticidas. Entretanto, falhas no controle populacional do inseto têm sido observadas em campo, possivelmente associadas ao uso de moléculas com baixa capacidade de interromper o ciclo biológico da espécie. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência de inseticidas com diferentes mecanismos de ação no controle de *D. citri*, considerando efeitos letais e subletais sobre parâmetros biológicos e o potencial de crescimento populacional. O experimento foi conduzido em condições controladas no Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC), em delineamento inteiramente aleatorizado, com seis tratamentos e seis repetições. Foram avaliados os inseticidas buprofezina, piriproxifem, ciantraniliprole e malationa, além do fungo entomopatogênico *Cordyceps fumosorosea*, comparados à testemunha. Foram analisados mortalidade de adultos, fecundidade, viabilidade de ovos e ninfas, longevidade e parâmetros de tabela de vida, permitindo estimar o crescimento populacional da espécie ao longo das gerações. Os resultados demonstraram elevada mortalidade nos tratamentos com ciantraniliprole e malationa, superiores a 90%, enquanto os demais tratamentos apresentaram baixa mortalidade. A fecundidade e a viabilidade de ovos e ninfas não diferiram estatisticamente entre os tratamentos, porém a longevidade foi reduzida, no tratamento com ciantraniliprole. A análise da tabela de vida indicou forte redução no potencial de crescimento populacional nos tratamentos com ciantraniliprole e malationa, enquanto buprofezina e *C. fumosorosea* apresentaram efeito intermediário e o piriproxifem comportamento semelhante à testemunha. Conclui-se que a eficácia dos inseticidas no manejo de *D. citri* depende não apenas da mortalidade imediata, mas também da capacidade de reduzir parâmetros demográficos da população, sendo ciantraniliprole e malationa os tratamentos com maior potencial para limitar o crescimento populacional da espécie.

Palavras-chave: huanglongbing; psílideo-dos-citros; controle químico; tabela de vida; dinâmica populacional.

Demographic parameters of *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) under application of chemical and biological insecticides

ABSTRACT

Huanglongbing (HLB) is considered the most destructive disease of citrus worldwide, and its spread is directly associated with the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae). As no commercial citrus varieties resistant to the disease are available, management of the vector relies mainly on the use of insecticides. However, failures in controlling psyllid populations have been observed in the field, possibly associated with the use of molecules with limited ability to disrupt the insect life cycle. Thus, this study aimed to evaluate the efficiency of insecticides with different modes of action in the control of *D. citri*, considering both lethal and sublethal effects on biological parameters and population growth potential. The experiment was conducted under controlled conditions at the Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC) using a completely randomized design with six treatments and six replications. The insecticides buprofezin, pyriproxyfen, cyantraniliprole, and malathion, as well as the entomopathogenic fungus *Cordyceps fumosorosea*, were evaluated and compared with an untreated control. Adult mortality, fecundity, egg and nymph viability, longevity, and life table parameters were assessed to estimate population growth across generations. High mortality rates were observed for cyantraniliprole and malathion treatments, exceeding 90%, whereas the other treatments showed low mortality. Fecundity and egg and nymph viability did not differ statistically among treatments; however, adult longevity was reduced under cyantraniliprole exposure. Life table analysis indicated a strong reduction in population growth potential under cyantraniliprole and malathion treatments, while buprofezin and *C. fumosorosea* showed intermediate effects and pyriproxyfen displayed a response similar to the control. These results indicate that the effectiveness of insecticides in managing *D. citri* depends not only on immediate mortality but also on their capacity to reduce demographic parameters of the population, with cyantraniliprole and malathion showing the greatest potential to limit population growth.

Keywords: huanglongbing; Asian citrus psyllid; chemical control; life table; population dynamics.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de laranja e de suco de laranja e o segundo maior de citros, com área destinada à colheita de 568,1 mil hectares em 2022 (IBGE, 2022). Na safra 2020/21, o país foi responsável por 31% da produção mundial da fruta e por 63,4% do volume global de suco de laranja, detendo mais de 70% do mercado global do suco da fruta (USDA, 2022).

A citricultura brasileira é marcada por muitos desafios, estima-se que mais de 300 pragas e doenças estiveram, e muitas ainda estão presentes, no cinturão citrícola, tendo gerado perdas econômicas relevantes (Figueiredo, 2008). Dentre estas destaca-se o (HLB; ex-greening), a qual é considerada uma das doenças mais importantes em todo o mundo para esta cultura, causando grandes perdas na produção comercial (Dagulo et al., 2010).

O patógeno associado a esta doença é uma bactéria gram-negativa restrita do floema (Garnier et al., 1984)., existem três espécies atualmente conhecidas destas bactérias: ‘*Candidatus(Ca.) Liberibacter asiaticus*’, a qual foi relatada pela primeira vez na Ásia, ‘*Ca. Liberibacter africanus*’, na África e (Jagoueix et al., 1994) e ‘*Ca. Liberibacter americanus*’ no Brasil (Teixeira et al., 2005). No entanto, o *Ca. liberibacter asiaticus*’ é a estirpe detectada predominantemente nas plantas doentes no Brasil (Arruda, 2017).

A transmissão desta doença ocorre majoritariamente pelo psilídeo-dos-citros (*Diaphorina citri* Kuyama) (Hemiptera: Psyllidae), um pequeno inseto sugador que mede cerca de 2 a 3 mm de comprimento, possui coloração marrom-claro quando novo e manchado de escuro quando mais velho, e apresenta asas transparentes com manchas pretas nas anteriores. As formas jovens são achatadas, pouco convexas e apresentam pernas curtas. Quando mais evoluídas possuem tecas alares geralmente largas, do lado do tórax, aumentando a largura do corpo (Gallo et al., 2002). De coloração amarelada, as ninfas passam por cinco instares, e podem medir de 0,25 a 1,70 mm de comprimento. Os ovos são depositados em brotações novas, nas gemas foliares e na axila das folhas e são de coloração amarelo-alaranjado, medindo aproximadamente 0,3mm de comprimento e 0,14mm de largura. As primeiras ninfas eclodem após quatro dias da colocação dos ovos, à temperatura de 25°C (TSAI & LIU, 2000). O número médio de ovos por fêmea varia de 630 a 1230 (HUANG et al., 1990).

O primeiro caso do HLB no Brasil, ocorreu em Araraquara-SP em 2004, este foi o primeiro caso da doença no continente americano (Coletta-Filho et al., 2004), em 2005 ocorreu a primeira detecção da doença no Paraná e em Minas Gerais em 2007. Os sintomas do HLB são caracterizados, inicialmente pela presença de ramos com folhas amareladas, as folhas destes

ramos apresentam manchas amareladas assimétricas comparadas ao lado oposto do limbo foliar, e podem apresentar tamanho reduzido, com nervuras mais grossas e reduzidas (BELASQUE JUNIOR, 2009). Em estágios mais avançados da doença podem ocorrer desfolha e morte de ponteiros. Frutos de ramos sintomáticos podem apresentar tamanho reduzido e assimetria, a queda de fruto é um sintoma grave que aumenta conforme a severidade da doença, podendo chegar a derrubar todos os frutos da planta doente (BELASQUE JUNIOR, 2009).

Como não existe nenhuma variedade de copa ou porta-enxerto de citros resistente, a medida amplamente empregada pelos citricultores para o controle da doença é o uso de mudas sadias, a erradicação de plantas sintomática e a aplicação de inseticidas, visando diminuir a população do inseto vetor. Porém, de acordo com o sistema de alerta fitossanitário desenvolvido pelo Fundecitrus, a população de psíldeos nos períodos de primavera/verão vem apresentando picos duas vezes maiores em relação ao ano anterior, demonstrando uma falha no controle do psíldeo, que pode estar relacionado ao uso de inseticidas ineficientes na quebra do ciclo do *D. citri*.

HIPÓTESE

A ineficiência no controle populacional de *Diaphorina citri* em campo está associada ao uso recorrente de inseticidas com baixa capacidade de interromper o ciclo biológico do inseto, seja por reduzida eficácia letal imediata ou por não comprometer parâmetros biológicos subletais (longevidade, fecundidade, fertilidade e emergência), favorecendo a persistência populacional.

OBJETIVOS

Avaliar a eficiência de inseticidas com diferentes mecanismos de ação no controle de *Diaphorina citri*, considerando efeitos letais e subletais em diferentes estágios de desenvolvimento, com o objetivo de determinar seu potencial de interrupção do crescimento populacional da espécie.

Objetivos específicos

1. Avaliar a mortalidade de *D. citri* causada pelos inseticidas aplicados.
2. Avaliar os efeitos subletais dos inseticidas sobre adultos sobreviventes, mensurando:

- longevidade,
 - fecundidade,
 - fertilidade e
 - emergência de adultos da geração subsequente.
3. Estimar parâmetros de tabela de vida e projetar o crescimento populacional de *D. citri* com base nos dados de sobrevivência e reprodução obtidos.
 4. Comparar a eficiência dos inseticidas quanto à sua capacidade de reduzir o potencial de crescimento populacional e contribuir para a interrupção do ciclo biológico da praga.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância da citricultura no Brasil e no mundo

Do ponto de vista econômico, a citricultura apresenta elevada relevância por envolver uma cadeia produtiva complexa, que vai desde a produção primária até o processamento industrial e a comercialização de frutos in natura e derivados, especialmente sucos (FAO, 2021). No mercado internacional, a laranja se destaca como a principal fruta cítrica em volume produzido e consumido, sendo amplamente utilizada tanto para consumo direto quanto para processamento industrial (USDA, 2024). A importância do setor é reforçada pela forte integração entre agricultura e indústria, o que confere à citricultura um papel estratégico na agregação de valor e na geração de divisas para os países produtores (European Commission, 2025).

Nesse contexto global, o Brasil ocupa posição de destaque incontestável. O país consolidou-se como o maior produtor mundial de laranja e, simultaneamente, como o maior exportador de suco de laranja, respondendo por aproximadamente 76% do mercado internacional dessa bebida, com a União Europeia e os Estados Unidos figurando entre os principais destinos das exportações brasileiras (Vidal, 2024). A relevância econômica da citricultura brasileira é expressa pelos elevados valores de produção, pelos milhões de toneladas colhidas anualmente e pela extensa área destinada ao cultivo, o que confere à atividade papel central no agronegócio nacional (IBGE, 2024a). Além disso, o setor se caracteriza por elevada capacidade de geração de emprego e renda, especialmente em regiões onde a citricultura constitui uma das principais alternativas produtivas (EMBRAPA, 2026).

A distribuição geográfica da citricultura no Brasil evidencia forte concentração regional, com destaque para o cinturão citrícola formado pelo estado de São Paulo e pela região do

Triângulo e Sudoeste Mineiro, responsáveis pela maior parcela da produção nacional de laranja e pelo abastecimento da indústria de sucos (Vidal, 2024). Entretanto, a citricultura também assume grande importância em outras regiões do país, como no Nordeste, onde os Tabuleiros Costeiros de Sergipe e Bahia concentram mais de 80% da área cultivada com laranja na região, desempenhando papel social relevante ao sustentar milhares de pequenos produtores (Vidal, 2024). Essa heterogeneidade regional reflete diferentes sistemas produtivos, níveis tecnológicos e formas de organização social da produção, o que amplia a complexidade e a importância estratégica da cadeia citrícola brasileira (EMBRAPA, 2026).

Além da laranja, outras frutas cítricas apresentam expressão produtiva significativa no país, como limão, lima e tangerina, contribuindo para a diversificação da produção agrícola e para o atendimento de distintos mercados consumidores (IBGE, 2017; IBGE, 2024b; IBGE, 2024c). Esses cultivos ampliam a base produtiva da citricultura e reforçam sua importância econômica, ao atender tanto o mercado interno quanto nichos específicos do comércio internacional (FAO, 2021). Ademais, a diversidade de espécies e variedades cultivadas confere maior resiliência ao setor frente às oscilações de mercado e às variações climáticas, ainda que não elimine os riscos inerentes à atividade agrícola (EMBRAPA, 2026).

No âmbito social, a citricultura apresenta expressiva relevância ao envolver grande número de estabelecimentos rurais, muitos deles de pequeno e médio porte, especialmente em regiões onde alternativas produtivas são limitadas (IBGE, 2024a; Vidal, 2024). A atividade contribui para a fixação do produtor no campo, para a dinamização das economias locais e para a manutenção de redes de cooperação e associativismo, como observado em experiências de produção orgânica e agroecológica em determinadas regiões do país (EMBRAPA, 2026). Dessa forma, a citricultura ultrapassa sua dimensão estritamente econômica, assumindo papel relevante no desenvolvimento rural e regional (Vidal, 2024).

Apesar de sua importância produtiva, econômica e social, a citricultura caracteriza-se por elevada sensibilidade a problemas fitossanitários, em função de fatores como a perenidade das plantas, o longo ciclo produtivo, a concentração espacial das áreas cultivadas e a intensa circulação de material vegetal (EMBRAPA, 2026). Esses aspectos tornam os pomares particularmente vulneráveis a doenças que podem comprometer a produtividade, a longevidade das plantas e a sustentabilidade econômica da atividade, tanto em nível local quanto nacional (FAO, 2021). No caso brasileiro, essa vulnerabilidade assume contornos ainda mais relevantes, dada a dimensão da citricultura e sua forte integração com o mercado internacional, no qual exigências sanitárias são cada vez mais rigorosas (USDA, 2024; European Commission, 2026).

Dessa maneira, compreender a importância da citricultura no Brasil e no mundo implica reconhecer não apenas sua expressiva contribuição econômica e social, mas também os desafios associados à manutenção de sua produtividade e competitividade ao longo do tempo (EMBRAPA, 2026). A magnitude do setor, aliada à sua sensibilidade a fatores adversos, evidencia a necessidade de estratégias contínuas de proteção e sustentabilidade da atividade, de modo a assegurar sua permanência como pilar do agronegócio brasileiro e do abastecimento global de frutas cítricas (FAO, 2021; Vidal, 2024). Nesse contexto, a preservação da sanidade dos pomares torna-se um componente essencial para assegurar a permanência da citricultura como pilar do agronegócio brasileiro e do comércio internacional de frutas cítricas. Entre os principais entraves fitossanitários da citricultura moderna, destacam-se doenças de grande impacto econômico, como o Huanglongbing (HLB) ou *Greening* (Sulzbach et al., 2017).

2.2. Huanglongbing (HLB): etiologia, epidemiologia e impactos

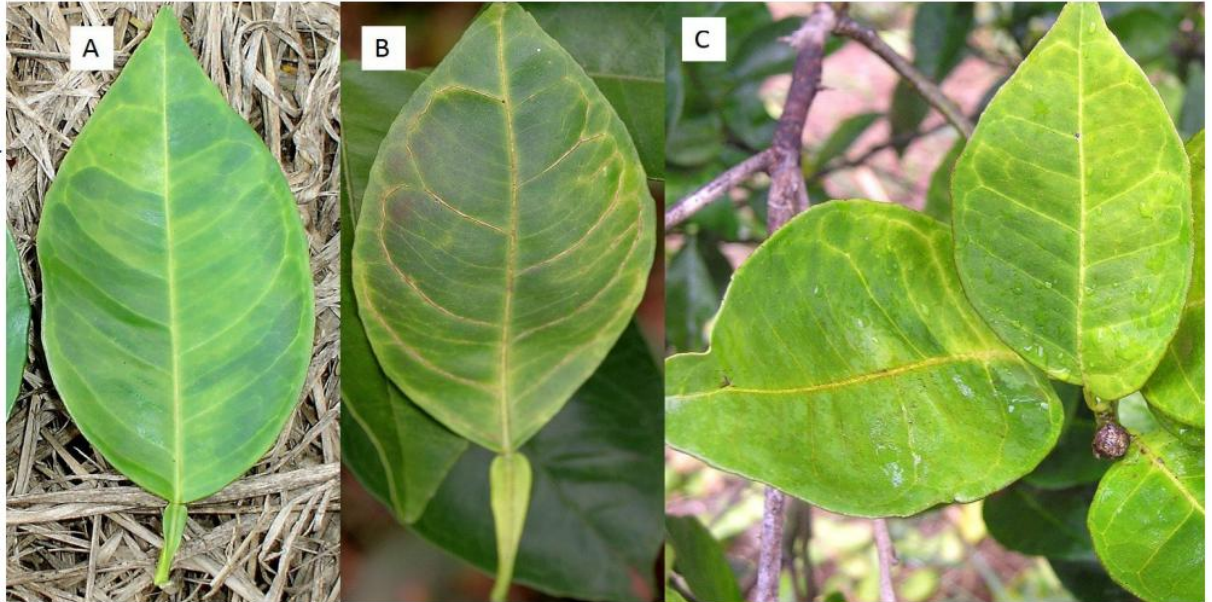
O huanglongbing (HLB) (*ex-greening*), é considerado atualmente a doença mais destrutiva da citricultura mundial, devido à sua ampla disseminação, severidade dos sintomas e ausência de métodos curativos eficazes, configurando-se como um dos principais entraves à sustentabilidade da cadeia produtiva dos citros (Bassanezi et al., 2010; Wulff et al., 2021). No Brasil, a relevância fitossanitária do HLB é reconhecida oficialmente, sendo classificada como praga quarentenária presente, o que motivou a instituição de programas nacionais específicos para sua prevenção e controle, como o Programa Nacional de Prevenção e Controle do Huanglongbing (PNCHLB) (MAPA; SDA, 2025).

A etiologia do HLB está associada a bactérias Gram-negativas, restritas ao floema das plantas hospedeiras, pertencentes ao gênero *Candidatus Liberibacter*, sendo as principais espécies descritas *Candidatus Liberibacter asiaticus*, *Candidatus Liberibacter americanus* e *Candidatus Liberibacter africanus* (Teixeira et al., 2010). No contexto brasileiro, predominam *Ca. Liberibacter asiaticus* e, em menor escala histórica, *Ca. Liberibacter americanus*, ambas responsáveis por causar alterações profundas na fisiologia das plantas infectadas (Teixeira et al., 2010; Wulff et al., 2021). Essas bactérias apresentam distribuição sistêmica, porém irregular, dificultando sua detecção precoce e contribuindo para a evolução silenciosa da doença nos pomares (Arenas, 2017).

Os sintomas do HLB manifestam-se de forma progressiva e podem variar conforme a idade da planta, a variedade cultivada e as condições ambientais, mas, de modo geral, incluem

o mosqueado difuso das folhas, clorose assimétrica, engrossamento das nervuras (Figura 1), redução do porte vegetativo e intensa desuniformidade no desenvolvimento da copa (Wulff et al., 2021).

Figura 1. Sintoma típico do HLB em laranjeira-doce



Fonte: Wulff et al. (2021, p. 4). Legenda: (A) folhas com mosqueado, (B) nervura espessa e (C) nervuras amarelas.

Em estágios mais avançados, observa-se queda prematura de folhas e frutos (Figura 2), além de produção de frutos pequenos, deformados, com coloração irregular e sementes abortadas (Figura 3), comprometendo diretamente a qualidade comercial e industrial da produção (Bassanezi et al., 2010). Do ponto de vista fisiológico, a obstrução do floema pelas bactérias leva à desorganização do transporte de fotoassimilados, resultando em acúmulo de amido nas folhas e colapso metabólico gradual da planta (Teixeira et al., 2010).

Figura 2. Sintoma típico do HLB em laranjeira-doce



Fonte: Wulff et al. (2021, p. 5). Legenda ramos amarelados e folhas caídas.

Figura 3. Comparativo de frutos afetados com frutos não afetados



Fonte: Wulff et al. (2021, p. 6). Legenda: Fruto assimétrico de laranja-doce com HLB, com columela escurecida e semente abortada (A) e fruto de tangerina, menores e com inversão de cor (esquerda e centro, em comparação ao sadio, à direita (B).

Os impactos produtivos e econômicos do HLB são amplos e profundos, afetando desde pequenos produtores até grandes sistemas empresariais de produção citrícola (Ishida; Noronha, 2016). A redução da produtividade pode ocorrer poucos anos após a infecção, com perdas significativas no rendimento por planta e diminuição da longevidade dos pomares, o que eleva os custos de produção e antecipa a necessidade de erradicação e replantio (Bassanezi et al.,

2010). Além das perdas diretas, a doença impõe custos indiretos relacionados ao monitoramento, diagnóstico, substituição de plantas e adequação às exigências fitossanitárias impostas por legislações estaduais e federais (MAPA; SDA, 2025; Sulzbach et al., 2017).

Sob a ótica epidemiológica, o HLB caracteriza-se por apresentar rápida disseminação em áreas produtoras, associada à elevada eficiência de transmissão e à dificuldade de identificação de plantas assintomáticas nos estágios iniciais da infecção (Bassanezi et al., 2010). A dinâmica espacial da doença evidencia padrões de agregação, frequentemente iniciando nas bordas dos pomares e avançando para o interior das áreas cultivadas, o que reforça a complexidade do seu manejo em paisagens agrícolas heterogêneas (Montesino, 2018). Essa característica epidemiológica contribui para a manutenção de focos de inóculo ao longo do tempo, mesmo em sistemas que adotam medidas rigorosas de prevenção (Sulzbach, 2016).

A ausência de controle curativo para o HLB é um dos fatores que mais agravam sua importância fitossanitária, uma vez que não existem, até o momento, tratamentos capazes de eliminar as bactérias do floema e restaurar plenamente a funcionalidade das plantas infectadas (Wulff et al., 2021). Dessa forma, as estratégias adotadas concentram-se na prevenção da introdução da doença, na identificação precoce de plantas sintomáticas e na mitigação da sua disseminação em nível regional, conforme preconizado pelos programas oficiais de defesa sanitária vegetal (MAPA; SDA, 2025). No entanto, mesmo com a adoção integrada dessas medidas, o HLB permanece como uma doença de difícil manejo, exigindo constante vigilância e elevados investimentos por parte do setor produtivo (Ishida; Noronha, 2016).

Nesse contexto, a compreensão aprofundada da etiologia, epidemiologia e dos impactos do huanglongbing é fundamental para embasar estratégias de convivência com a doença e reduzir seus efeitos ao longo do tempo (Bassanezi et al., 2010). A disseminação do HLB está diretamente associada à presença de um vetor eficiente, o psílídeo-dos-citros, *Diaphorina citri* Kuwayama, cuja atuação conecta os processos epidemiológicos da doença à dinâmica populacional observada nos pomares citrícolas (Arenas, 2017).

2.3. *Diaphorina citri*

2.3.1. Biologia e dinâmica populacional

Diaphorina citri Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) é um inseto hemíptero de pequeno porte, cuja biologia está intimamente associada às plantas hospedeiras da família Rutaceae,

especialmente espécies de citros e *Murraya paniculata*, apresentando elevada capacidade de multiplicação em condições favoráveis (Parra et al., 2010). O conhecimento detalhado do seu ciclo de vida e dos fatores que regulam sua dinâmica populacional é fundamental para compreender como as populações se estabelecem, crescem e se mantêm ao longo do tempo em pomares comerciais e áreas adjacentes (Arenas, 2017).

O ciclo de vida de *D. citri* é composto pelas fases de ovo, ninfas distribuídas em cinco ínstaes que correspondem às fases de desenvolvimento do inseto entre uma muda e outra, caracterizadas por alterações morfológicas e aumento gradual de tamanho corporal, ocorrendo enquanto o organismo ainda se encontra em estádios imaturos e adultos, sendo fortemente dependente da presença de brotações jovens nas plantas hospedeiras (Parra et al., 2010).

A oviposição ocorre preferencialmente em tecidos vegetais tenros, como gemas e folhas recém-expandidas, onde as fêmeas depositam os ovos de coloração amarelada a alaranjada, geralmente posicionados de forma isolada ou em pequenos agrupamentos (Chirinos; Chávez; Castro, 2020). A duração do estágio embrionário varia de acordo com a temperatura, podendo oscilar entre dois e cinco dias em condições tropicais, o que favorece ciclos rápidos de desenvolvimento populacional (Parra et al., 2010).

Após a eclosão, as ninfas passam por cinco ínstaes ninfais, permanecendo praticamente imóveis sobre as brotações, onde se alimentam continuamente da seiva floemática (Arenas, 2017). Esse estágio é considerado o mais longo do ciclo, com duração média entre 10 e 15 dias, dependendo das condições ambientais e da qualidade nutricional da planta hospedeira (Chirinos; Chávez; Castro, 2020). A dependência das ninfas por tecidos jovens torna a ocorrência de fluxos de brotação um fator determinante para o sucesso do desenvolvimento populacional, uma vez que a ausência desses tecidos limita drasticamente a sobrevivência e a progressão dos ínstaes (Parra et al., 2010).

Os adultos emergem com coloração acinzentada a marrom, apresentando elevada mobilidade e capacidade de dispersão entre plantas e áreas próximas (Farias et al., 2018). A longevidade dos adultos pode variar de algumas semanas a vários meses, sendo influenciada principalmente pela temperatura, disponibilidade de alimento e condições de umidade relativa do ar (Gonçalves, 2024). Em ambientes com oferta contínua de brotações, os adultos apresentam alta fecundidade, o que contribui para o rápido aumento das populações em curtos intervalos de tempo (Parra et al., 2010).

A relação entre *D. citri* e os fluxos de brotação dos citros é um dos principais elementos explicativos da sua dinâmica populacional (Arenas, 2017). Períodos de intensa emissão de

brotos, geralmente associados a práticas culturais, regimes de irrigação ou condições climáticas favoráveis, promovem picos populacionais do inseto, enquanto fases de escassez de brotações resultam em declínio ou estabilização das populações (Farias et al., 2018). Essa sincronização entre o inseto e a fenologia da planta hospedeira confere previsibilidade à flutuação populacional ao longo do ano, embora variações regionais possam ocorrer (Parra et al., 2010).

Os fatores ambientais exercem papel importante na regulação do crescimento populacional de *D. citri*, destacando-se a temperatura, a umidade relativa e a precipitação pluviométrica (Chirinos; Chávez; Castro, 2020). Temperaturas entre 25 °C e 28 °C são consideradas ideais para o desenvolvimento do inseto, reduzindo a duração do ciclo e aumentando a taxa de sobrevivência dos diferentes estádios (Parra et al., 2010). Em contrapartida, temperaturas extremas, tanto baixas quanto elevadas, podem retardar o desenvolvimento ou aumentar a mortalidade, impactando negativamente a densidade populacional (Farias et al., 2018).

Além do clima, a paisagem agrícola e a disponibilidade contínua de plantas hospedeiras alternativas contribuem para a manutenção das populações ao longo do ano, funcionando como refúgios temporários em períodos desfavoráveis dentro dos pomares comerciais (Arenas, 2017). Essa capacidade de persistência populacional, aliada ao curto ciclo biológico e à elevada fecundidade, explica a rápida recuperação das populações após períodos de declínio, evidenciando o potencial do inseto para apresentar crescimentos exponenciais quando as condições se tornam favoráveis (Gonçalves, 2024).

Dessa forma, a biologia e a dinâmica populacional de *D. citri* são resultado da interação entre características intrínsecas da espécie e fatores extrínsecos relacionados ao ambiente e à fenologia das plantas hospedeiras (Parra et al., 2010). As características biológicas e populacionais de *D. citri* tornam o inseto altamente eficiente como vetor de patógenos associados ao HLB (Arenas, 2017).

2.3.2. *Diaphorina citri* como vetor do LHB

Diaphorina citri Kuwayama é reconhecido como o principal vetor dos agentes associados ao HLB, desempenhando papel fundamental na epidemiologia da doença em todas as regiões citrícolas onde está presente (Parra et al., 2010). A eficiência desse inseto como vetor está relacionada às suas características biológicas, comportamentais e populacionais que

favorecem a aquisição, a retenção e a transmissão das bactérias do gênero *Candidatus liberibacter* durante o processo de alimentação no floema das plantas hospedeiras (Arenas, 2017).

A aquisição do patógeno ocorre quando ninfas ou adultos de *D. citri* se alimentam de plantas infectadas, ingerindo a bactéria presente no floema juntamente com a seiva elaborada (Teixeira et al., 2010). Embora diferentes estádios sejam capazes de adquirir o patógeno, a fase ninfal apresenta maior eficiência de aquisição, uma vez que o inseto permanece alimentando-se continuamente em tecidos jovens por períodos prolongados (Parra et al., 2010). Após a contaminação, as bactérias colonizam o organismo do inseto, atravessando o epitélio intestinal e alcançando as glândulas salivares, onde podem ser transmitidas para plantas saudáveis durante novas alimentações (Arenas, 2017).

O processo de transmissão é classificado como persistente e propagativo, pois o patógeno não apenas persiste no corpo do vetor ao longo do tempo, como também se multiplica em seus tecidos, mantendo a capacidade de infecção durante praticamente toda a vida do inseto (Wulff et al., 2021). Essa característica é que confere elevada eficiência vetorial a *D. citri*, uma vez que indivíduos infectados podem disseminar o patógeno para múltiplas plantas ao longo de sua longevidade, ampliando significativamente o risco epidemiológico em áreas produtoras (Bassanezi et al., 2010).

A eficiência vetorial de *D. citri* também está associada ao seu comportamento alimentar e à sua mobilidade entre plantas, o que favorece a disseminação espacial do HLB dentro dos pomares e entre áreas adjacentes (Arenas, 2017). Adultos apresentam elevada capacidade de deslocamento, podendo colonizar novas plantas hospedeiras em curtos intervalos de tempo, o que contribui para a rápida expansão da doença em ambientes com alta densidade populacional do inseto (Farias et al., 2018). Essa mobilidade, aliada à alimentação frequente no floema, cria condições ideais para a disseminação eficiente do patógeno em escala local e regional (Parra et al., 2010).

Do ponto de vista epidemiológico, a presença de *D. citri* é considerada um fator determinante para a ocorrência e progressão do HLB, sendo a doença praticamente inexistente em áreas onde o vetor não se encontra estabelecido (Bassanezi et al., 2010). A interação entre plantas infectadas, vetores infectivos e plantas saudáveis sustenta um ciclo contínuo de disseminação, no qual a taxa de infecção está diretamente relacionada à abundância e à atividade populacional do inseto (Montesino, 2018). Assim, mesmo baixos níveis iniciais de

infecção podem resultar em epidemias severas ao longo do tempo, caso haja condições favoráveis à multiplicação e movimentação do vetor (Sulzbach, 2016).

A relação entre densidade populacional de *D. citri* e risco de infecção por HLB é amplamente documentada, indicando que o aumento no número de indivíduos eleva proporcionalmente a probabilidade de contato entre vetores infectivos e plantas sadias (Parra et al., 2010). Em cenários de alta densidade populacional, a velocidade de disseminação da doença tende a ser maior, reduzindo o intervalo entre a introdução do patógeno e o aparecimento de sintomas em larga escala nos pomares (Bassanezi et al., 2010). Além disso, a presença contínua de indivíduos infectivos mantém elevada a pressão de inóculo ao longo do tempo, dificultando a estabilização epidemiológica da doença (Arenas, 2017).

Outro aspecto relevante é que a eficiência vetorial não depende exclusivamente da presença de plantas sintomáticas, uma vez que plantas assintomáticas também podem servir como fontes de aquisição do patógeno, ampliando o risco de disseminação silenciosa do HLB (Wulff et al., 2021). Esse fator contribui para a complexidade epidemiológica da doença e reforça o papel estratégico de *D. citri* como elo fundamental entre o patógeno e o hospedeiro vegetal (Teixeira et al., 2010). Dessa forma, a dinâmica populacional do inseto assume uma grande importância na compreensão dos padrões de avanço espacial e temporal do HLB em áreas citrícolas (Farias et al., 2018).

Diante desse contexto, fica evidente que o impacto do HLB na citricultura está diretamente ligado à capacidade de *D. citri* em adquirir, manter e transmitir eficientemente os patógenos associados à doença, tornando o inseto peça-chave na sua epidemiologia (Arenas, 2017). Diante do papel central de *D. citri* na epidemiologia do HLB, estratégias de manejo populacional tornam-se indispensáveis na citricultura (Bassanezi et al., 2010).

2.3.3. Estratégias de manejo

O manejo de *Diaphorina citri* Kuwayama na citricultura está fundamentado no conceito de Manejo Integrado de Pragas (MIP), que propõe a utilização racional e integrada de diferentes táticas com o objetivo de manter as populações do inseto abaixo de níveis que representem risco econômico e fitossanitário, minimizando impactos ambientais e promovendo a sustentabilidade dos sistemas produtivos (Parra et al., 2010). No contexto do HLB, o MIP assume papel ainda mais relevante, uma vez que a simples presença do inseto, mesmo em baixas densidades, pode representar risco elevado de disseminação da doença, exigindo abordagens contínuas e preventivas (Bassanezi et al., 2010).

O MIP aplicado a *D. citri* baseia-se inicialmente no conhecimento da biologia e da dinâmica populacional do inseto, permitindo compreender os momentos de maior vulnerabilidade e os períodos de maior crescimento populacional ao longo do ano (Arenas, 2017). A partir dessa compreensão, torna-se possível estruturar estratégias de manejo que considerem o agroecossistema como um todo, integrando práticas culturais, monitoramento sistemático e o uso criterioso das ferramentas disponíveis (Ishida; Noronha, 2016). Esse enfoque busca reduzir a dependência exclusiva de medidas isoladas e aumentar a eficiência global do manejo ao longo do tempo (Gonçalves, 2024).

O monitoramento populacional constitui um dos pilares do manejo de *D. citri*, sendo essencial para acompanhar a flutuação das populações e subsidiar a tomada de decisão dentro do MIP (Farias et al., 2018). A avaliação periódica da presença de ovos, ninfas e adultos em pomares permite identificar picos populacionais e compreender a relação entre a ocorrência do inseto e os fluxos de brotação das plantas hospedeiras (Parra et al., 2010). Além disso, o monitoramento contribui para a detecção precoce da infestação, reduzindo o risco de aumentos populacionais abruptos que comprometam o manejo fitossanitário das áreas citrícolas (Arenas, 2017).

As medidas culturais e preventivas representam outro componente fundamental das estratégias de manejo, atuando de forma indireta sobre a dinâmica populacional de *D. citri* (Bassanezi et al., 2010). A utilização de mudas sadias, a eliminação de plantas doentes, o manejo adequado das bordas dos pomares e a sincronização de práticas agrícolas que influenciam a emissão de brotações são ações que contribuem para reduzir a atratividade e a permanência do inseto nas áreas de cultivo (Montesino, 2018). Essas práticas visam diminuir a disponibilidade de hospedeiros favoráveis e, conseqüentemente, limitar o crescimento populacional ao longo do tempo (Sulzbach, 2016).

Dentro do MIP, também é reconhecida a importância de uma abordagem regional e coletiva, uma vez que *D. citri* apresenta elevada capacidade de dispersão entre áreas vizinhas, o que torna o manejo isolado menos eficiente (Arenas, 2017). A coordenação entre produtores e a adoção de medidas conjuntas ampliam a efetividade das estratégias de manejo, reduzindo fontes externas de infestação e contribuindo para a estabilidade fitossanitária das regiões produtoras (Bassanezi et al., 2010). Essa visão integrada reforça que o manejo do inseto deve ser entendido como um processo contínuo, e não como uma ação pontual (Ishida; Noronha, 2016).

De forma geral, diversas ferramentas podem ser integradas no manejo de *D. citri*, incluindo práticas culturais, monitoramento, métodos físicos, comportamentais e químicos, além de estratégias baseadas em conhecimento ecológico e epidemiológico (Parra et al., 2010). No entanto, neste contexto, é fundamental destacar que a eficiência dessas ferramentas está diretamente relacionada à forma como são combinadas e ao momento em que são aplicadas, reforçando o caráter sistêmico do MIP (Gonçalves, 2024). Assim, a adoção de estratégias isoladas tende a apresentar resultados limitados quando não inserida em um programa integrado e bem estruturado (Farias et al., 2018).

Considerando o papel de *D. citri* na epidemiologia do HLB e os elevados riscos associados ao seu crescimento populacional descontrolado, o manejo desse inseto tornou-se um dos principais desafios da citricultura moderna (Wulff et al., 2021). Nesse cenário, a construção de estratégias de manejo baseadas em princípios do MIP é indispensável para reduzir a pressão populacional e mitigar os impactos da doença ao longo do tempo (Bassanezi et al., 2010). Entre as ferramentas disponíveis no manejo de *D. citri*, o controle químico permanece como a principal estratégia adotada em áreas comerciais (Parra et al., 2010).

2.3.4. Controle químico

O controle químico de *Diaphorina citri* Kuwayama constitui uma das principais ferramentas utilizadas na citricultura para a redução rápida das populações do inseto, especialmente em áreas comerciais com elevada pressão populacional e risco fitossanitário associado ao HLB (Parra et al., 2010). Essa estratégia baseia-se no uso de inseticidas pertencentes a diferentes grupos químicos, os quais atuam sobre o inseto por distintos modos de ação, interferindo em processos fisiológicos essenciais como o sistema nervoso, o crescimento ou a respiração celular (Arenas, 2017).

Diversos grupos químicos têm sido empregados no controle de *D. citri*, incluindo inseticidas de contato, sistêmicos e translaminares, cuja eficiência varia de acordo com o estágio de desenvolvimento do inseto e com a forma de aplicação no campo (Shibutani, 2025). De maneira geral, ovos, ninfas e adultos apresentam diferentes níveis de suscetibilidade, sendo que alguns grupos demonstram maior eficiência sobre estádios móveis, enquanto outros apresentam melhor desempenho sobre formas imaturas associadas às brotações (Martini, 2024). Essa diferenciação reforça a importância do conhecimento prévio da estrutura populacional presente no momento da aplicação para maximizar a eficiência do controle químico (Lima Paulo, 2024).

A eficiência relativa dos inseticidas também está diretamente relacionada à sua capacidade de atingir o local onde o inseto se encontra, o que torna o posicionamento das aplicações um fator crítico no controle de *D. citri* (Siqueira, 2023). Considerando que ovos e ninfas permanecem preferencialmente em brotações jovens, enquanto os adultos apresentam maior mobilidade, a cobertura adequada da copa e o direcionamento do produto para os tecidos mais atrativos ao inseto influenciam significativamente os resultados obtidos (Gonçalves, 2024). Assim, falhas no posicionamento das aplicações podem comprometer a eficiência do inseticida, independentemente do grupo químico utilizado (Shibutani, 2025).

No contexto do manejo químico, a classificação dos inseticidas segundo o Comitê de Ação à Resistência a Inseticidas (IRAC) é amplamente adotada como ferramenta de orientação técnica, permitindo a organização dos produtos com base em seus modos de ação (IRAC, conforme Parra et al., 2010). Essa classificação auxilia na escolha e na alternância de grupos químicos distintos ao longo do tempo, reduzindo a pressão de seleção sobre as populações do inseto e contribuindo para a manutenção da eficiência das ferramentas disponíveis (Lima Paulo, 2024). A rotação de grupos químicos com diferentes modos de ação é, portanto, considerada um princípio básico dentro dos programas de manejo químico de *D. citri* (Arenas, 2017).

Além disso, o controle químico deve ser compreendido como parte de um sistema mais amplo de manejo, no qual o uso racional dos inseticidas busca equilibrar eficiência de controle e sustentabilidade do sistema produtivo (Bassanezi et al., 2010). A escolha adequada do grupo químico, aliada ao momento correto de aplicação e à observação da dinâmica populacional do inseto, contribui para melhores níveis de controle ao longo do tempo (Farias et al., 2018). Nesse sentido, o entendimento de como os inseticidas atuam sobre os diferentes estádios de *D. citri* é essencial para embasar decisões técnicas mais consistentes no campo (Shibutani, 2025).

Apesar da ampla disponibilidade de inseticidas registrados e da eficiência observada em diversas situações, o uso intensivo e repetido de inseticidas, entretanto, tem sido associado à redução da eficiência de controle em populações de *D. citri* (Lima Paulo, 2024).

2.3.5. Resistência a inseticidas

A resistência de insetos a inseticidas é definida como a capacidade hereditária de uma população sobreviver a doses de produtos que anteriormente eram letais para a maioria dos indivíduos, resultando na redução da eficiência de controle ao longo do tempo (Parra et al., 2010). No caso de *Diaphorina citri* Kuwayama, esse fenômeno tem sido objeto de crescente

atenção científica, especialmente em sistemas citrícolas caracterizados pelo uso frequente e contínuo de inseticidas como principal ferramenta de manejo populacional (Shibutani, 2025).

Os mecanismos de resistência podem envolver diferentes processos fisiológicos e bioquímicos, incluindo alterações no sítio-alvo dos inseticidas, aumento da detoxificação metabólica e redução da penetração dos produtos no organismo do inseto, os quais podem atuar de forma isolada ou combinada dentro de uma mesma população (Arenas, 2017). Esses mecanismos surgem e se intensificam a partir da pressão de seleção exercida pelo uso repetitivo de inseticidas com o mesmo modo de ação, favorecendo a sobrevivência e a reprodução de indivíduos menos suscetíveis (Lima Paulo, 2024).

Evidências científicas indicam que populações de *D. citri* submetidas a regimes intensivos de aplicação apresentam variações na suscetibilidade aos inseticidas ao longo do tempo, o que se reflete em diferenças na mortalidade observada em condições de campo e laboratório (Siqueira, 2023). Estudos recentes demonstram que intervalos curtos entre aplicações e a baixa diversidade de modos de ação utilizados contribuem para o aumento da pressão seletiva, acelerando o processo de adaptação das populações do inseto (Shibutani, 2025). Essa adaptação pode ocorrer de forma gradual, sendo inicialmente percebida como redução parcial da eficiência de controle, antes de se manifestar como falhas mais evidentes (Martini, 2024).

A relação entre o uso repetitivo de inseticidas e a chamada quebra de controle é amplamente reconhecida na literatura, sendo caracterizada pela incapacidade dos tratamentos em manter as populações de *D. citri* em níveis baixos por períodos prolongados (Lima Paulo, 2024). Nessas situações, observa-se rápida recuperação populacional após as aplicações, associada à sobrevivência de indivíduos com maior tolerância aos produtos utilizados (Farias et al., 2018). Esse cenário é particularmente preocupante em áreas com elevada densidade populacional do inseto e disponibilidade contínua de brotações, que favorecem a multiplicação acelerada dos indivíduos sobreviventes (Gonçalves, 2024).

Do ponto de vista do manejo populacional, a resistência representa um desafio significativo, pois compromete a previsibilidade e a eficiência das estratégias baseadas predominantemente no controle químico (Parra et al., 2010). A redução progressiva da eficácia dos inseticidas pode levar ao aumento da frequência de aplicações, intensificando ainda mais a pressão seletiva e criando um ciclo de dependência tecnológica difícil de ser revertido (Shibutani, 2025). Além disso, a heterogeneidade de suscetibilidade dentro das populações de

D. citri torna o manejo mais complexo, exigindo maior atenção à dinâmica populacional e ao histórico de uso de produtos nas áreas citrícolas (Arenas, 2017).

As implicações da resistência vão além da simples perda de eficiência de produtos, afetando diretamente a sustentabilidade do sistema produtivo e a capacidade de convivência com o HLB em longo prazo (Bassanezi et al., 2010). A manutenção de populações menos suscetíveis amplia o risco fitossanitário, uma vez que indivíduos sobreviventes continuam presentes no agroecossistema, sustentando níveis populacionais elevados mesmo sob regimes intensivos de controle químico (Wulff et al., 2021). Dessa forma, a resistência deve ser compreendida como um processo evolutivo contínuo, diretamente relacionado às práticas de manejo adotadas ao longo do tempo (Lima Paulo, 2024).

Nesse contexto, a integração de métodos alternativos ao controle químico tem sido apontada como estratégia fundamental para a sustentabilidade do manejo (Arenas, 2017).

2.3.6. Controle biológico

O controle biológico de *Diaphorina citri* tem sido amplamente estudado como componente importante em programas de manejo integrado, sobretudo em função das limitações associadas ao uso exclusivo de inseticidas químicos em sistemas citrícolas intensivos (Parra et al., 2010). Entre os principais agentes biológicos associados ao psilídeo-dos-citros, destacam-se os parasitoides e os entomopatógenos, que atuam de forma natural ou por meio de liberações inundativas ou inoculativas, contribuindo para a regulação populacional do inseto em diferentes contextos produtivos (Arenas, 2017).

Dentre os parasitoides, *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) é reconhecido como o agente de maior relevância, apresentando elevada especificidade e capacidade de parasitismo sobre ninfas de quarto e quinto ínstar de *D. citri* (Parra et al., 2010). Outro parasitoide frequentemente citado é *Diaphorencyrtus aligarhensis* (Hymenoptera: Encyrtidae), que também atua sobre estádios ninfaís, embora com menor eficiência relativa quando comparado a *T. radiata* em condições de campo no Brasil (Farias et al., 2018). A atuação desses inimigos naturais está diretamente relacionada à densidade populacional do hospedeiro e às condições ambientais, que influenciam tanto a taxa de parasitismo quanto a sobrevivência dos agentes biológicos (Arenas, 2017).

Além dos parasitoides, fungos entomopatogênicos, como *Beauveria bassiana* e *Isaria fumosorosea*, têm sido estudados pelo potencial de infecção de ninfas e adultos de *D. citri*,

atuando por contato e penetração cuticular (Gonçalves, 2024). Esses agentes apresentam como característica a possibilidade de atuação em diferentes estádios do inseto, embora sua eficiência seja fortemente dependente de fatores como umidade relativa, temperatura e radiação solar, o que pode limitar sua consistência em ambientes de campo (Siqueira, 2023).

A integração do controle biológico com o controle químico é frequentemente discutida como uma estratégia necessária para a manutenção da eficiência do manejo populacional de *D. citri*, desde que sejam considerados critérios de seletividade e compatibilidade entre os métodos (Parra et al., 2010). O uso de inseticidas menos prejudiciais aos inimigos naturais pode favorecer a persistência dos agentes biológicos no agroecossistema, permitindo que atuem de forma complementar à redução populacional promovida pelas aplicações químicas (Arenas, 2017). No entanto, essa integração exige planejamento criterioso, uma vez que aplicações frequentes e não seletivas podem comprometer significativamente as populações de parasitoides e entomopatógenos (Farias et al., 2018).

Apesar do reconhecido potencial do controle biológico, existem limitações práticas que restringem sua adoção em larga escala, como a variabilidade de eficiência em função das condições ambientais, a necessidade de monitoramento constante e os custos associados à produção e liberação de agentes biológicos (Gonçalves, 2024). Além disso, em áreas com alta pressão populacional do psilídeo, o controle biológico isolado pode não ser suficiente para manter as populações em níveis baixos de forma contínua, exigindo sua associação com outras táticas de manejo (Parra et al., 2010).

Apesar dos avanços no manejo de *D. citri*, ainda há lacunas quanto à eficiência de programas baseados em aplicações sucessivas de inseticidas de diferentes mecanismos de ação, especialmente no que se refere à quebra do ciclo populacional do inseto (Shibutani, 2025).

2.4. Inseticidas

2.4.1. Malationa

A malationa, conhecida internacionalmente como Malathion, é um inseticida pertencente ao grupo químico dos organofosforados, amplamente empregado no manejo de pragas agrícolas e, em determinados contextos, em programas de controle de vetores (Cultivar, 2025a). Trata-se de um composto classificado como éster do ácido ditiofosfórico, cuja fórmula molecular é $C_{10}H_{19}O_6PS_2$ e cujo número CAS é 121-75-5, características que a inserem no

conjunto de moléculas tradicionalmente utilizadas no controle químico de insetos de importância econômica (Cultivar, 2025a).

Do ponto de vista funcional, a malationa é descrita como um inseticida de amplo espectro, indicado para o controle de diferentes ordens de insetos, incluindo espécies mastigadoras e sugadoras que acometem culturas como frutas, hortaliças, cereais e algodão (Cultivar, 2025a). Sua atuação ocorre predominantemente por contato, ingestão e inalação nos insetos-alvo, não apresentando comportamento sistêmico na planta, ou seja, não é absorvida e translocada pelos tecidos vegetais (Cultivar, 2025a). Essa característica implica que sua eficiência está diretamente relacionada à qualidade da aplicação e à adequada cobertura do alvo biológico, aspecto que ganha relevância prática quando se discute tecnologia de aplicação.

O mecanismo de ação da malationa está associado à inibição da enzima acetilcolinesterase (AChE), fundamental para o funcionamento do sistema nervoso dos insetos (Cultivar, 2025a). Após penetrar no organismo do inseto, a molécula pode ser metabolicamente convertida em malaoxon, sua forma mais ativa e tóxica, que apresenta maior afinidade pela acetilcolinesterase (Cultivar, 2025a). A inibição dessa enzima impede a degradação da acetilcolina nas sinapses, ocasionando o acúmulo desse neurotransmissor e promovendo estimulação nervosa contínua, descoordenação, paralisia e, por fim, a morte do inseto (Cultivar, 2025a). Esse modo de ação é característico dos organofosforados e explica tanto sua eficácia inseticida quanto os riscos associados à exposição inadequada em organismos não alvo, especialmente vertebrados.

A malationa é aplicada, em geral, por meio de pulverização foliar, sendo veiculada em calda aquosa e distribuída sobre a parte aérea das plantas, com o objetivo de promover contato direto com o inseto-alvo (Cultivar, 2025a). Como se trata de um inseticida não sistêmico, sua eficácia depende fundamentalmente da deposição adequada do produto sobre as superfícies vegetais onde os insetos se encontram, especialmente folhas, brotações e ramos jovens (Cultivar, 2025a). Nesse sentido, aspectos como volume de aplicação, tipo de ponta de pulverização, tamanho de gotas e uso de adjuvantes tornam-se determinantes para o sucesso do controle.

No estudo conduzido por Siqueira (2023), que avaliou o controle de *Diaphorina citri* na citricultura, a malationa foi utilizada em associação com adjuvantes e sob diferentes parâmetros de tecnologia de aplicação, evidenciando que a cobertura obtida na superfície adaxial das folhas foi superior a 30%, enquanto na face abaxial e nos ramos foi inferior a 5% (Siqueira, 2023). Esses resultados reforçam que o modo de aplicação influencia diretamente a distribuição da

calda e, conseqüentemente, a eficiência biológica do inseticida. Em pragas que se concentram na face inferior das folhas ou em regiões internas da copa, pode ser necessário ajuste de volume, pressão e arquitetura de pulverização para melhorar a penetração da calda (Siqueira, 2023).

Complementarmente, Bianchi (2024), ao avaliar a eficácia de diferentes inseticidas em populações de *Diaphorina citri* oriundas de distintas regiões do estado de São Paulo, verificou variações na suscetibilidade do psilídeo aos produtos testados, incluindo organofosforados como a malationa. Os resultados indicaram que a resposta ao inseticida pode diferir entre populações, sugerindo possível influência de fatores regionais e histórico de exposição a moléculas com o mesmo mecanismo de ação (Bianchi, 2024). Esses achados, quando analisados em conjunto com os dados de cobertura e deposição apresentados por Siqueira (2023), evidenciam que a eficiência da malationa no controle de *D. citri* não depende exclusivamente de seu mecanismo de inibição da acetilcolinesterase, mas também da adequada tecnologia de aplicação e do monitoramento da suscetibilidade populacional, reforçando a necessidade de estratégias integradas e manejo racional na citricultura.

No contexto específico deste experimento, voltado ao controle de *Diaphorina citri* na citricultura, a malationa foi empregada como inseticida químico de referência em função de seu amplo espectro de ação e de seu mecanismo como inibidor da acetilcolinesterase, que promove rápida ação sobre insetos sugadores (Cultivar, 2025a). Considerando que *D. citri* se concentra preferencialmente em brotações e na face inferior das folhas, a eficiência da malationa depende diretamente da qualidade da pulverização e da cobertura obtida na copa das plantas (Cultivar, 2025a). Nesse sentido, conforme evidenciado por Siqueira (2023), a associação com adjuvantes e o ajuste de parâmetros da tecnologia de aplicação tornam-se decisivos para melhorar a deposição da calda e potencializar o controle do psilídeo, especialmente em regiões menos expostas da planta, reforçando a importância de integrar o uso do produto a estratégias tecnicamente orientadas no manejo da cultura.

2.4.2. Ciantraniliprole

O ciantraniliprole é um inseticida pertencente ao grupo químico das diamidas antranílicas, amplamente utilizado no manejo de insetos sugadores e mastigadores em diversas culturas, incluindo a citricultura (FMC Química, 2025). Esse produto apresenta-se como

dispersão oleosa contendo ciantraniliprole como ingrediente ativo, sendo indicado para diferentes pragas de importância agrícola, entre elas *Diaphorina citri* (FMC Química, 2025).

O mecanismo de ação do ciantraniliprole está relacionado à modulação dos receptores de rianodina presentes nas células musculares dos insetos. Ao ativar esses receptores, o inseticida promove liberação desregulada de cálcio a partir do retículo sarcoplasmático, desencadeando contração muscular contínua, paralisia e, conseqüentemente, morte do inseto (FMC Química, 2025). Diferentemente dos organofosforados, que atuam sobre o sistema nervoso central por inibição da acetilcolinesterase, o ciantraniliprole exerce ação predominantemente muscular, o que o posiciona como alternativa estratégica em programas de rotação de mecanismos de ação para manejo de resistência (Bianchi, 2024; FMC Química, 2025).

Quanto ao espectro de ação, o produto é indicado para o controle de insetos sugadores, como psilídeos e pulgões, e também de algumas espécies mastigadoras, dependendo da cultura (FMC Química, 2025). Na citricultura, sua recomendação inclui aplicações direcionadas ao controle de *D. citri*, especialmente em fases iniciais de infestação, quando há presença de ninfas em brotações (FMC Química, 2025). O inseticida pode ser aplicado via pulverização foliar terrestre ou aérea, com volumes de calda ajustados conforme o porte da planta e o sistema de aplicação, sendo ressaltada a importância de boa cobertura da copa e direcionamento às brotações, onde o psilídeo se concentra (FMC Química, 2025).

No estudo conduzido por Siqueira (2023), o ciantraniliprole foi avaliado no contexto da tecnologia de aplicação, associado a adjuvantes e diferentes parâmetros operacionais. Os resultados demonstraram que a eficiência do controle está diretamente relacionada à deposição da calda nas superfícies foliares, sobretudo naquelas menos expostas, como a face abaxial das folhas, reforçando que o desempenho do inseticida depende não apenas de seu mecanismo bioquímico, mas também da qualidade da aplicação (Siqueira, 2023).

Em avaliação complementar, Bianchi (2024) investigou a eficácia de inseticidas, incluindo o ciantraniliprole, em populações de *D. citri* provenientes de diferentes regiões do estado de São Paulo. Os resultados indicaram alta eficiência do produto na maioria das populações testadas, embora tenham sido observadas variações de suscetibilidade, evidenciando a necessidade de monitoramento contínuo e rotação de ingredientes ativos para evitar seleção de resistência (Bianchi, 2024).

No cenário internacional, Miranda-Salcedo e Gonzalez-Gaona (2025), ao avaliarem inseticidas alternativos para o controle de *D. citri* em limoeiro, observaram que o

ciantraniliprole promoveu elevada mortalidade do psíldeo ao longo dos períodos de avaliação, figurando entre os tratamentos mais eficazes na redução populacional da praga. Os autores destacam, entretanto, a importância de considerar possíveis efeitos sobre inimigos naturais, reforçando a necessidade de inserção do produto em programas de manejo integrado (Miranda-Salcedo; Gonzalez-Gaona, 2025).

A inclusão do ciantraniliprole neste experimento justifica-se por seu mecanismo de ação diferenciado, como modulador dos receptores de rianodina (Grupo 28), o que o torna alternativa estratégica aos organofosforados no manejo da resistência (FMC Química, 2025; Bianchi, 2024). Além disso, estudos demonstram elevada eficácia no controle de *Diaphorina citri* em citros (Miranda-Salcedo; Gonzalez-Gaona, 2025) e indicam que seu desempenho está diretamente relacionado à adequada tecnologia de aplicação (Siqueira, 2023), reforçando sua relevância para o manejo do vetor do HLB na citricultura.

2.4.3. *Cordyceps fumosorosea*

Cordyceps fumosorosea é um fungo entomopatogênico amplamente estudado como agente de controle biológico de insetos-praga. Trata-se de um microrganismo pertencente ao grupo dos ascomicetos, atualmente reclassificado taxonomicamente como *Cordyceps fumosorosea*, embora a denominação *Isaria fumosorosea* ainda seja amplamente utilizada na literatura técnica e regulatória (Luo et al., 2022). Diferente dos inseticidas químicos convencionais, não integra um “grupo químico” sintético, mas sim a categoria de inseticidas microbiológicos, tendo como ingrediente ativo conídios viáveis do fungo (ADAPAR, 2024). No Brasil, produtos comerciais formulados à base de *C. fumosorosea* estão registrados como agentes biológicos de controle, o que reforça seu enquadramento dentro das estratégias de manejo integrado de pragas.

O mecanismo de ação baseia-se na infecção direta do inseto hospedeiro. Após a aplicação, os conídios aderem à cutícula do inseto, germinam e formam estruturas de penetração que atravessam o tegumento por ação mecânica e enzimática. Uma vez no interior do hospedeiro, o fungo prolifera na hemolinfa, produz toxinas secundárias e compromete funções vitais, levando o inseto à morte (Luo et al., 2022). Posteriormente, sob condições adequadas de umidade, ocorre a esporulação externa no cadáver, permitindo disseminação horizontal do patógeno. Essa capacidade de transmissão entre indivíduos é apontada como um diferencial relevante para o estabelecimento do fungo em populações naturais (Conceschi, 2013).

Quanto ao espectro de ação, apresenta atividade contra diferentes ordens de insetos, incluindo Hemiptera, Lepidoptera e Coleoptera, com destaque para pragas sugadoras como mosca-branca e psilídeos (ADAPAR, 2024). No contexto da citricultura, o alvo de maior interesse é o psilídeo-dos-citros (*Diaphorina citri*), vetor da bactéria associada ao Huanglongbing (HLB). A aplicação é realizada via pulverização foliar, utilizando formulações em suspensão concentrada ou pó molhável, de modo semelhante aos inseticidas químicos, embora a eficácia dependa fortemente de condições ambientais favoráveis, especialmente umidade relativa elevada (ADAPAR, 2024). Além disso, estudos experimentais indicam que a associação com adjuvantes pode melhorar a deposição e a viabilidade dos conídios na superfície foliar (Conceschi, 2013).

As evidências experimentais no Brasil demonstram o potencial desse fungo no controle de pragas dos citros. Conceschi (2013) avaliou isolados de *I. fumosorosea* em condições laboratoriais e verificou elevada patogenicidade sobre ninfas e adultos de *D. citri*, com mortalidades expressivas e indícios de transmissão horizontal do patógeno. Esses resultados reforçam a viabilidade do fungo como componente de programas de manejo integrado. Em âmbito internacional, Luo et al. (2022) identificaram molecularmente um isolado de *C. fumosorosea* obtido de cadáveres de *D. citri* e comprovaram sua alta patogenicidade em laboratório e casa de vegetação, observando não apenas mortalidade significativa, mas também efeitos subletais, como redução da longevidade e da emergência de adultos.

Análises bibliométricas indicam crescimento consistente das pesquisas envolvendo fungos entomopatogênicos no controle do psilídeo-dos-citros, com *Isaria/Cordyceps fumosorosea* figurando entre os microrganismos mais investigados (Portes; Pimentel; Zawadneak, 2023). Esses estudos destacam que o uso de fungos entomopatogênicos representa alternativa promissora frente às limitações do controle químico, especialmente diante da seleção de populações resistentes e das preocupações ambientais.

A justificativa para utilização de *Isaria fumosorosea* em experimentos voltados ao controle de *D. citri* reside justamente em sua eficácia comprovada, seletividade e compatibilidade com estratégias sustentáveis de manejo. Além de reduzir a pressão de seleção por resistência, seu uso pode contribuir para a diminuição de resíduos químicos no ambiente e favorecer o equilíbrio ecológico nos pomares. Considerando sua capacidade de infectar diretamente o psilídeo, seu espectro sobre insetos sugadores e sua compatibilidade com programas de manejo integrado, o fungo representa uma ferramenta relevante para o controle sustentável de *D. citri* na citricultura (Conceschi, 2013; Portes; Pimentel; Zawadneak, 2023).

Além disso, o registro e disponibilidade de formulações comerciais no Brasil reforçam sua aplicabilidade prática no contexto experimental e produtivo (ADAPAR, 2024).

2.4.4. Piriproxifem

O piriproxifen (pyriproxyfen) é um inseticida classificado como Regulador de Crescimento de Insetos (RCI), pertencente ao grupo das substâncias análogas ao hormônio juvenil dos insetos (Cultivar, 2025). Diferentemente dos inseticidas neurotóxicos convencionais, sua ação não ocorre diretamente sobre o sistema nervoso central, mas sim sobre os mecanismos hormonais que regulam o desenvolvimento e a metamorfose. De acordo com a classificação apresentada na literatura técnica, o piriproxifen atua mimetizando o hormônio juvenil, mantendo seus níveis artificialmente elevados e impedindo a transição normal entre os estágios imaturos e a fase adulta (Cultivar, 2025).

O mecanismo de ação está relacionado à desregulação endócrina. Após absorção por contato ou ingestão, o ingrediente ativo compromete o equilíbrio hormonal necessário à ecdise e à diferenciação celular. Como consequência, ninfas não completam adequadamente o desenvolvimento, podendo apresentar malformações, interrupção da metamorfose ou morte antes de atingir a fase adulta (Cultivar, 2025). Além disso, há evidências de que o produto afete a viabilidade reprodutiva, reduzindo a eclosão de ovos quando fêmeas entram em contato com o composto antes da oviposição, o que contribui para a diminuição gradual das populações nas gerações subsequentes (Nortox, 2025). Assim, ainda que sua ação não seja imediata, o impacto sobre o ciclo biológico da praga resulta em controle progressivo e sustentado.

Quanto ao espectro de ação, o piriproxifen apresenta elevada eficácia contra insetos sugadores, cochonilhas, pulgões e psilídeos, sendo recomendado para diversas culturas agrícolas (Nortox, 2025). A aplicação é predominantemente foliar, por pulverização, explorando sua ação de contato e efeito translaminar, o que permite atingir formas imaturas localizadas na face inferior das folhas (Cultivar, 2025). Por atuar principalmente sobre ovos e ninfas, recomenda-se sua utilização em estágios iniciais de infestação, frequentemente em associação com inseticidas de outros mecanismos de ação dentro de programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP), ampliando a eficiência sobre diferentes fases do inseto (Cultivar, 2025).

Em estudo conduzido por Lima (2023), que avaliou a eficiência de inseticidas no controle de *Bemisia tabaci* na cultura do feijoeiro, o piriproxifen apresentou redução

significativa das populações, sobretudo nas fases imaturas, confirmando seu potencial como ferramenta eficaz no comprometimento do ciclo biológico de insetos sugadores. Embora o estudo tenha sido direcionado à mosca-branca, os resultados reforçam a eficiência do mecanismo regulador de crescimento sobre hemípteros de hábito semelhante, como os psilídeos.

A justificativa para utilização do piriproxifen em experimentos voltados ao controle de *Diaphorina citri* reside justamente em seu modo de ação específico sobre formas imaturas e em sua capacidade de interferir na reprodução da praga. Considerando que *D. citri* apresenta elevada taxa de multiplicação em brotações jovens dos citros, a interrupção do desenvolvimento ninfal e a redução da viabilidade dos ovos representam estratégias relevantes para diminuir a pressão populacional ao longo do ciclo da cultura. Além disso, por não atuar por neurotoxicidade direta, o piriproxifen pode ser incorporado como ferramenta complementar a inseticidas de ação rápida, contribuindo para a rotação de mecanismos de ação e para a redução do risco de seleção de resistência (Cultivar, 2025; Nortox, 2025). Dessa forma, sua inclusão em protocolos experimentais voltados ao manejo de *D. citri* na citricultura encontra respaldo técnico tanto em seu perfil fisiológico quanto em sua eficácia comprovada sobre insetos sugadores (Lima, 2023).

2.4.5. Buprofezina

A buprofezina é um inseticida classificado como regulador de crescimento de insetos (RCI), pertencente ao grupo químico das tiadiazinonas, amplamente empregado no controle de insetos sugadores em diferentes culturas agrícolas (Nichino Do Brasil, 2024). Diferentemente dos inseticidas neurotóxicos convencionais, seu efeito não está associado à paralisação imediata do sistema nervoso do inseto, mas à interferência em processos fisiológicos fundamentais ao desenvolvimento. Por essa razão, é reconhecida como uma molécula estratégica dentro de programas de manejo integrado de pragas, sobretudo quando o objetivo é atuar sobre estágios imaturos e reduzir a pressão de seleção por resistência (Nichino Do Brasil, 2024).

O mecanismo de ação da buprofezina está relacionado à inibição da síntese de quitina, componente estrutural essencial do exoesqueleto dos insetos. Ao comprometer a formação adequada da nova cutícula durante a muda (ecdise), o produto impede que ninfas completem o processo de desenvolvimento, levando-as à morte ou a deformações incompatíveis com a

sobrevivência (Moreno, 2000). Essa ação é mais evidente durante os estágios ninfais, fase em que a taxa de renovação do exoesqueleto é elevada. Além disso, há indícios de efeitos indiretos sobre a fecundidade e viabilidade de ovos quando adultos entram em contato com o produto, embora o impacto principal recaia sobre formas jovens (Moreno, 2000). Trata-se, portanto, de um inseticida de ação lenta e progressiva, cujo efeito populacional se torna mais perceptível ao longo do ciclo biológico da praga.

Quanto ao espectro de ação, a buprofezina apresenta eficácia principalmente contra Hemiptera sugadores, como mosca-branca, cigarrinhas, cochonilhas e psíldeos (Nichino Do Brasil, 2024). A aplicação ocorre, em geral, por pulverização foliar, explorando a ação de contato e ingestão. Por não atuar com rapidez sobre adultos, recomenda-se sua utilização em fases iniciais de infestação ou em programas que priorizem o controle das formas imaturas, o que favorece a interrupção do ciclo reprodutivo (Moreno, 2000). Sua seletividade relativa também contribui para a preservação de inimigos naturais quando comparada a inseticidas de amplo espectro, o que reforça sua inserção em estratégias de manejo integrado.

As evidências experimentais no Brasil indicam que a buprofezina apresenta elevada atividade sobre ninfas de cigarrinha-verde do feijoeiro (*Empoasca kraemeri*), promovendo mortalidade significativa associada à falha na ecdise, além de prolongamento do período ninfal (Moreno, 2000). Em âmbito internacional, estudos voltados ao controle de *Diaphorina citri* em citros apontam a buprofezina como alternativa viável dentro do conjunto de inseticidas reguladores de crescimento, especialmente quando inserida em programas de rotação de mecanismos de ação (Miranda-Salcedo; Gonzalez-Gaona, 2025). Esses autores destacam que, embora não seja um produto de efeito imediato sobre adultos, pode contribuir para a redução gradual da população do psíldeo quando aplicado no momento adequado.

A justificativa para o uso da buprofezina no controle de *Diaphorina citri* está diretamente associada à biologia da praga. O psíldeo-dos-citros apresenta fases ninfais fixas na superfície foliar, período em que a interferência na síntese de quitina pode ser particularmente eficaz. Ao comprometer o desenvolvimento das ninfas, a buprofezina atua na base da dinâmica populacional, reduzindo a emergência de adultos capazes de dispersar a bactéria associada ao Huanglongbing. Considerando que o manejo dessa praga exige estratégias sustentáveis e diversificação de mecanismos de ação para evitar resistência, a inserção da buprofezina em protocolos experimentais se mostra tecnicamente justificável.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da área experimental e instalação do ensaio

O experimento foi conduzido na sala de criação de insetos do Centro de Citricultura Sylvio Moreira, do Instituto Agrônomo (IAC), localizada no município de Cordeirópolis - SP (Figura 4).

Foram utilizadas mudas de limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus limonia* Osbeck), com seis meses de idade, transplantadas para vasos com capacidade de 1,0 L, contendo substrato composto por 80% de casca de pinheiro, 15% de vermiculita e 5% de materiais carbonizados.

As plantas foram mantidas sob temperatura constante de 25 ± 2 °C, irrigadas diariamente com lâmina correspondente a $2,0\text{ mm dia}^{-1}$ e submetidas à fertirrigação duas vezes por semana, de acordo com as recomendações para a cultura.



Figura 4. Sala de criação de insetos do Centro de Citricultura Sylvio Moreira – IAC (Cordeirópolis – 2026).

3.2. Delineamento do experimento e descrição dos tratamentos

O delineamento utilizado foi inteiramente aleatorizado, com seis tratamentos e seis repetições, sendo utilizada uma planta por parcela. Assim, o experimento foi composto por seis tratamentos. Os inseticidas avaliados neste estudo são registrados para uso em citros e contemplam tanto produtos de origem biológica quanto inseticidas sintéticos amplamente

utilizados no manejo de pragas. Para o produto biológico, escolheu-se o fungo entomopatogênico *Cordyceps fumosorosea*, formulado comercialmente como Challenger®, os inseticidas sintéticos avaliados incluíram o regulador de crescimento piriproxifem (Epling® 100), a tiodiazinona buprofezina (Fiera®), a diamida antranílica ciantraniliprole (Benevia®) e o organofosforado malationa (Malathion 1000 EC®), pertencentes a distintos grupos de ação segundo a classificação do IRAC, o que permite comparações quanto à eficácia.

As doses testadas foram baseadas nas recomendações de bula para aplicação em campo, sendo as caldas preparadas nas concentrações indicadas para 100 L de água. A descrição detalhada dos produtos, ingredientes ativos, grupos de ação e concentrações utilizadas encontra-se apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos utilizados no experimento, contendo ingrediente ativo, produto comercial, grupo químico segundo a classificação do IRAC (Insecticide Resistance Action Committee) e concentração da calda expressa em mL 100 L⁻¹ de água.

#	Ingrediente ativo	Produto	Grupo químico	Mecanismo de ação	Conc. (ml 100 L ⁻¹)
1	Testemunha	-	-	-	-
2	buprofezina	Fiera®	Tiodiazinona	16	50
3	piriproxifem	Epling 100®	Análogo do hormônio juvenil	7C	6,25
4	<i>C. fumosorosea</i>	Challenger®	n/a	11	100
5	ciantraniliprole	Benevia®	Diamida antranílica	28	12,5
6	malationa	Malathion 1000 EC®	Organofosforado	1B	150

3.3. Criação e obtenção de *Diaphorina citri*

Adultos de *Diaphorina citri* provenientes de criação mantida em laboratório há mais de 10 anos, sem exposição a inseticidas, foram mantidos em plantas de murta (*Murraya paniculata*) em gaiolas entomológicas. Para obtenção de insetos com idade sincronizada, grupos de adultos foram confinados em plantas com brotações novas por um período de 24 horas para oviposição. Após esse período, os adultos foram removidos, permitindo o desenvolvimento das ninfas até a emergência dos adultos.

3.4. Confinamento de *Diaphorina citri* e aplicação dos tratamentos

Para avaliar a eficiência de controle de *Diaphorina citri*, foram inseridos 300 adultos recém-emergidos por gaiola de *voil* (tela de material sintético), com dimensões de

aproximadamente 0,30 x 0,15m, de modo a confiná-los (Figura 5). Estas, foram instaladas em ramos com folhas jovens em estágio de desenvolvimento V6.



Figura 5. Gaiola/tela de *voil* para confinamento de indivíduos vivos de *Diaphorina citri* em ramos novos e folhas jovens de plantas de citros. Fotos: Dr. Rodrigo Martinelli.

A aplicação foi realizada uma hora após a infestação e foi feita com pulverizador manual pressurizado via CO₂ e calibrado para volume de calda conforme Tabela 1. Após a aplicação, as plantas infestadas foram mantidas em temperatura de 25±1°C, umidade relativa de 70% e fotoperíodo de 12:12 (12 horas de luz por 12 horas de escuro).

3.5. Avaliação de sobrevivência de adultos de *D. citri*

Para a avaliação de sobrevivência, três dias após a aplicação, foram inspecionados visualmente os ramos em que os insetos foram confinados, quantificando o número de adultos vivos e mortos para conferir a taxa de infestação.

A eficiência de controle foi obtida utilizando-se, fórmula de Abbott, com os dados de indivíduos vivos em relação aos da testemunha:

$$\text{Eficiência de controle (Abbott)} = \frac{\text{tratamento (\%)} - \text{testemunha (\%)}}{(100 - \text{testemunha (\%)})} \times 100$$

3.6. Separação de *D. citri* por sexo de marcação dos machos

Os adultos sobreviventes após a aplicação dos tratamentos foram cuidadosamente coletados com auxílio de aspirador entomológico manual e separados por sexo com base nas características morfológicas externas. A distinção entre machos e fêmeas foi realizada principalmente pela observação do ápice abdominal, sendo as fêmeas caracterizadas pela presença de ovipositor mais desenvolvido e abdome mais arredondado, enquanto os machos apresentam abdome mais estreito e ápice abdominal afilado. Em seguida, os machos foram agrupados em lotes de 30 indivíduos e transferidos para tubos plásticos de 50 mL (12 × 3 cm) contendo aproximadamente 10 mg de pó fluorescente (DAYGLO Color Corp., Cleveland, OH, USA). O procedimento de marcação foi realizado conforme metodologia descrita por Nakata (2008). Após a introdução dos insetos, os tubos foram agitados suavemente por aproximadamente cinco segundos para promover a aderência do pó fluorescente ao corpo dos indivíduos. Posteriormente, os adultos marcados foram liberados sobre plantas de citros para a condução das avaliações experimentais.



Figura 6. (A) Adultos de *Diaphorina citri* utilizados para a separação por sexo com base nas características morfológicas externas observadas sob estereomicroscópio. (B) Adulto macho de *D. citri* marcados com pó fluorescente e liberados sobre plantas de citros para a realização dos experimentos.

3.7. Avaliação de longevidade de adultos sobreviventes

A mortalidade dos adultos foi avaliada diariamente, registrando-se a data de morte de cada indivíduo para posterior determinação da longevidade (em dias). A longevidade foi calculada considerando o intervalo entre a data de emergência de adultos e a data de morte de cada indivíduo.

3.8. Avaliação de fecundidade e viabilidade de ovos e ninfas

Para a avaliação da fecundidade, os casais sobreviventes foram mantidos em plantas de citros com brotações, sendo estas substituídas a cada três dias por plantas com novas brotações, permitindo a oviposição e a contagem dos ovos nos brotos.

A cada substituição, as plantas removidas foram levadas ao laboratório para contagem do número total de ovos depositados por fêmea, utilizando estereomicroscópio. Para a avaliação da viabilidade total, os ovos contabilizados foram mantidos até a eclosão das ninfas e posteriormente a emergência dos adultos.

A viabilidade foi calculada por meio da seguinte fórmula:

$$Viabilidade \% = \left(\frac{N_x}{N_0} \right) \times 100$$

Em que N_x corresponde ao número de indivíduos eclodidos/emergidos e N_0 o número inicial de ovos ou ninfas.

3.9. Cálculo dos parâmetros da tabela de vida

Os parâmetros da tabela de vida foram estimados com base nos dados de sobrevivência e fecundidade das fêmeas de *Diaphorina citri*. A partir dessas informações foram calculados a taxa líquida de reprodução (R_0), o tempo médio de geração (T), a taxa intrínseca de aumento populacional (r_m) e a taxa finita de aumento (λ).

A taxa líquida de reprodução (R_0) foi obtida pela soma do produto entre a sobrevivência específica por idade (l_x) e a fecundidade específica por idade (m_x), conforme a equação:

$$R_0 = \sum (l_x m_x)$$

Em que: l_x corresponde à probabilidade de sobrevivência até a idade x e m_x ao número médio de descendentes viáveis produzidos por fêmea na idade x .

O tempo médio de geração (T) foi estimado pela razão entre a soma do produto da idade (x), sobrevivência e fecundidade específica por idade e a taxa líquida de reprodução:

$$T = \frac{\sum(xl_x m_x)}{\sum(l_x m_x)}$$

A taxa intrínseca de aumento populacional (r_m) foi estimada a partir da relação entre a taxa líquida de reprodução (R_0) e o tempo médio de geração (T), utilizando a expressão:

$$r_m = \frac{\ln(R_0)}{T}$$

A taxa finita de aumento (λ) foi obtida pela relação:

$$\lambda = e^{r_m}$$

3.10. Projeção do crescimento populacional

Com base nos parâmetros obtidos na análise da tabela de vida, foi realizada a projeção do crescimento populacional de *Diaphorina citri* ao longo das gerações para cada tratamento avaliado. Para essa estimativa, utilizou-se a taxa líquida de reprodução (R_0), que representa o número médio de descendentes produzidos por uma fêmea durante uma geração.

A projeção populacional foi calculada considerando uma população inicial hipotética de 100 indivíduos (N_0), aplicando-se a equação exponencial de crescimento populacional:

$$N_t = N_0 \times R_0^t$$

em que N_t representa o número estimado de indivíduos na geração t , N_0 corresponde ao número inicial de indivíduos, R_0 é a taxa líquida de reprodução obtida na tabela de vida e t representa o número de gerações.

As projeções foram realizadas para cinco gerações consecutivas, permitindo comparar o potencial de crescimento populacional de *D. citri* sob os diferentes tratamentos. Para facilitar a visualização e comparação entre tratamentos, os valores estimados de população foram transformados em \log_{10} antes da construção das curvas de crescimento populacional.

Os gráficos de projeção populacional foram elaborados com base nos valores estimados de N_t , permitindo avaliar o efeito dos tratamentos sobre o potencial de multiplicação da espécie ao longo das gerações.

3.11. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e posterior teste de comparação de médias pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). Para os parâmetros da tabela de vida, a incerteza foi estimada pelo método bootstrap com 1.000 reamostras com reposição sobre os blocos de cada tratamento, seguindo Meyer et al. (1986). Os intervalos de confiança de 95% foram obtidos pelo método BCa (*bias-corrected and accelerated*), que corrige assimetria na distribuição das reamostras (Efron & Tibshirani, 1993). Tratamentos foram considerados significativamente diferentes quando os intervalos de confiança de 95% não se sobrepuseram, critério equivalente a $p < 0,05$ (Payton et al., 2003). Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio do software R (v 4.4.1) (R Core Team, 2024).

4. RESULTADOS

4.1. Avaliação de sobrevivência dos adultos de *D. citri*

O experimento permitiu avaliar a dinâmica populacional de *D. citri* após a aplicação de inseticidas realizadas em psíldeos neonatos, os resultados da mortalidade após aplicação dos tratamentos demonstraram diferenças expressivas entre eles, evidenciando distintos padrões de resposta ao longo do período experimental, foi observado que, as maiores mortalidades foram na população submetida a aplicação de ciantraniliprole e malationa (94 e 97,2%) com eficácia relativa a testemunha de 93,6 e 97,1% (Figura 7), seguido por *Cordyceps fumosorosea*, que apresentou mortalidade de 29,7% e um controle de ~25%, a testemunha, buprofezina e piriproxifem apresentaram mortalidades semelhantes (média de 6,3%).

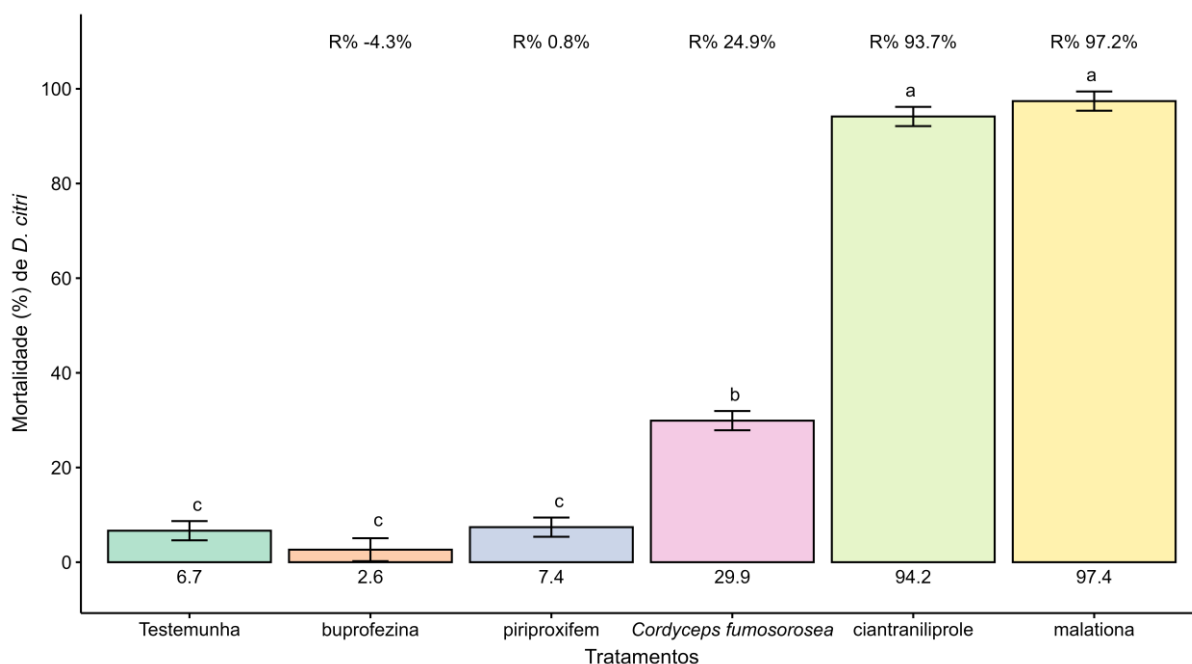


Figura 7. Valores médios de mortalidade de *Diaphorina citri* nos diferentes tratamentos aos três dias após a aplicação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). As barras de erro representam o erro padrão da média. R%: mortalidade relativa à testemunha.

4.2. Avaliação da oviposição de *Diaphorina citri*

Para os dados de oviposição, não foram observadas diferenças significativas (Figura 8).

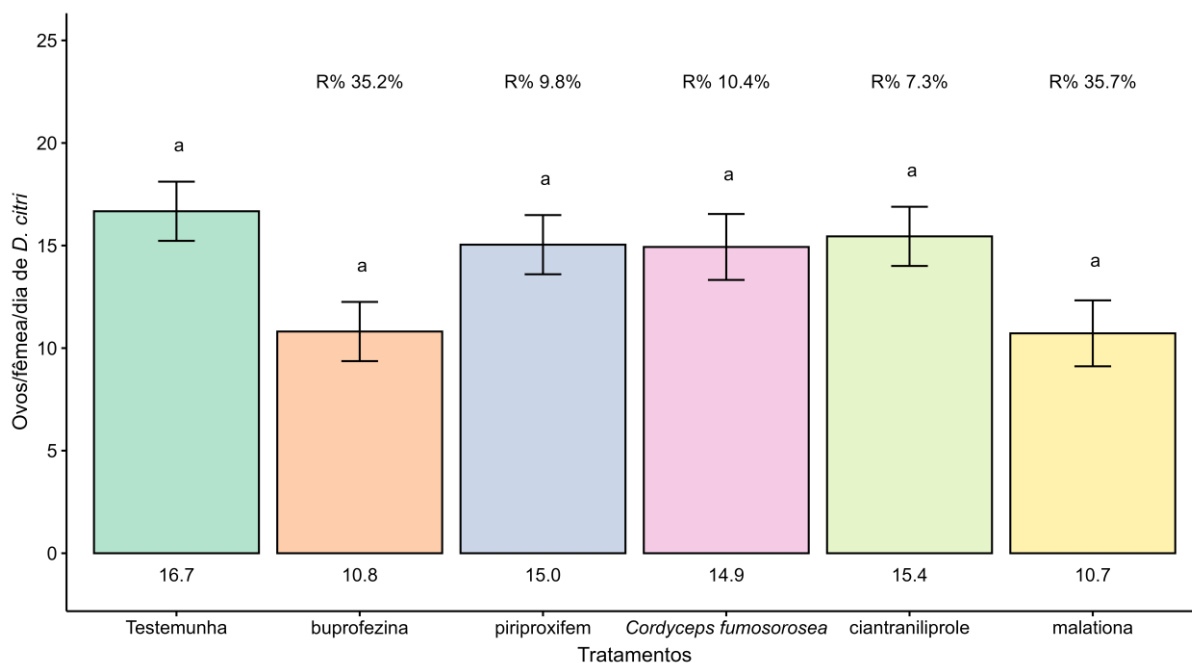


Figura 8. Número médio de ovos por fêmea por dia de *D. citri* submetidas a diferentes tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). As barras de erro representam o erro padrão da média. R%: redução percentual relativa à testemunha

4.3. Avaliação da viabilidade de ovos e ninfas de *Diaphorina citri*

Para os dados de viabilidade de ovos e ninfas os tratamentos apresentaram valores semelhantes (Figura 9).

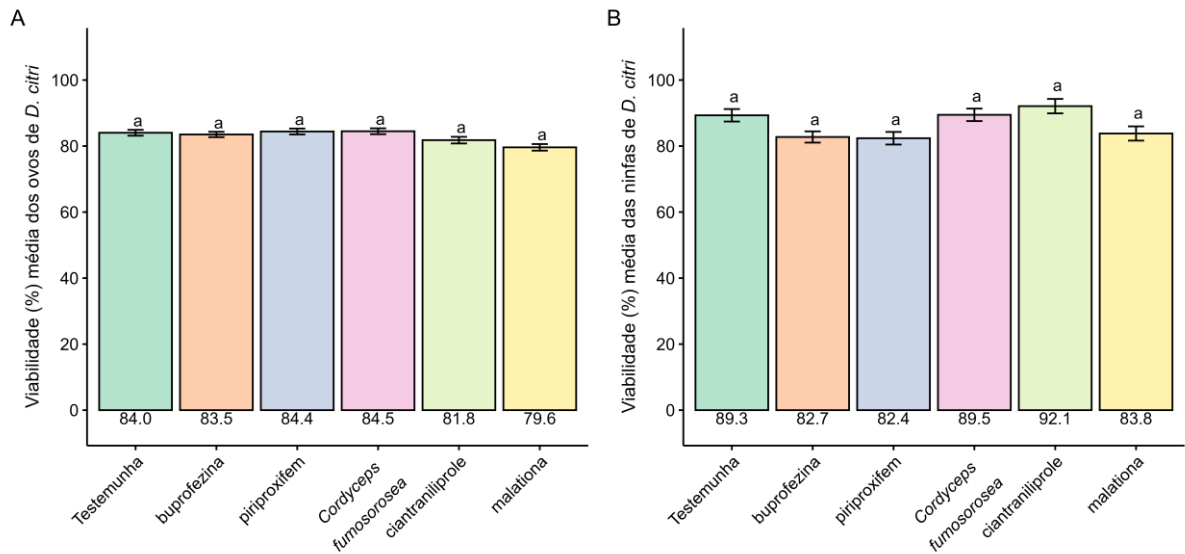


Figura 9. Valores médios de viabilidade dos ovos (A) e ninfas (B) de *Diaphorina citri* nos diferentes tratamentos da prole da população. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). As barras de erro representam o erro padrão da média. R%: mortalidade relativa à testemunha

4.4. Avaliação da longevidade

Para os dados de longevidade dos adultos de *D. citri* pós-aplicação dos tratamentos, observa-se que, a população submetida a aplicação de ciantraniliprole apresentou valor inferior (9,4 dias) ao da testemunha e piriproxi-fem (16,1 e 15,5 dias respectivamente) (Figura 10).

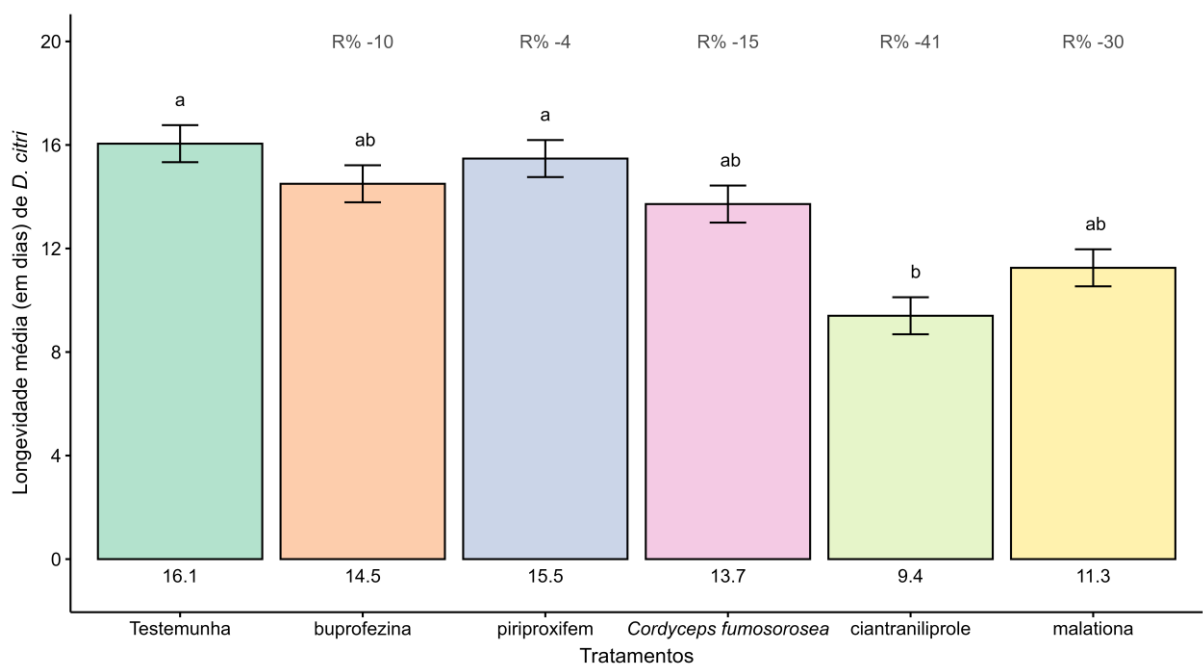


Figura 10. Longevidade em dias da população sobrevivente de *Diaphorina citri* submetida a aplicação dos diferentes tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). As barras de erro representam o erro padrão da média. R%: diferença relativa à testemunha

4.5. Parâmetros da tabela de vida

Para os parâmetros da tabela de vida, observou-se que, para a taxa finita de aumento (λ), os menores valores foram observados nas populações submetidas a aplicação de malationa e ciantraniliprole (1,02 e 0,993 respectivamente), seguidos por *C. fumosorosea* que apresentou valor de 1,098, enquanto a buprofezina e piriproxifem apresentaram valores de 1,12, a testemunha apresentou valor de 1,133. Para a taxa líquida de reprodução (R_0), os menores valores foram observados nos tratamentos ciantraniliprole e malationa de 2,39 e 1,12 respectivamente, enquanto a *C. fumosorosea* apresentou valor de 27,1 e a testemunha, buprofezina e piriproxifem apresentaram valores semelhantes média de 68,6 (Tabela 2). Para a duração média de geração não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. Enquanto a taxa intrínseca de crescimento, os menores valores foram vistos no ciantraniliprole e malationa, 0,0196 e -0,0076, enquanto a *C. fumosorosea*, apresentou valor de 0,093, e a testemunha, buprofezina e piriproxifem apresentaram valores semelhantes de 0,116.

Tabela 2. Tabela de vida de *Diaphorina citri* nos diferentes tratamentos. Duração média da geração (T) em dias, taxa líquida de reprodução (R_0), capacidade reprodutiva (r_m) e taxa finita de aumento (λ).

Tratamento	λ	R_0	T	R_m
Testemunha	1.133 (1.121–1.142) a	67.75 (49.65–99.16) a	34.83 (34.29–36.18) a	0.1247 (0.1152–0.1338) a
buprofezina	1.120 (1.107–1.125) b	42.16 (28.29–47.78) ab	34.34 (32.49–36.18) a	0.1131 (0.1018–0.1182) ab
piriproxifem	1.120 (1.108–1.128) b	53.98 (38.47–70.63) a	36.31 (35.18–37.20) a	0.1131 (0.1019–0.1200) ab
<i>Cordyceps fumosorosea</i>	1.098 (1.090–1.107) c	27.10 (19.38–37.40) b	35.38 (33.08–37.08) a	0.0932 (0.0855–0.1013) b
ciantraniliprole	1.020 (0.998–1.033) d	2.39 (1.25–3.36) c	35.90 (34.44–37.29) a	0.0196 (-0.0012–0.0330) c
malationa	0.993 (0.952–1.010) d	1.12 (0.42–1.50) c	33.31 (28.84–35.70) a	-0.0076 (-0.0639–0.0087) c

Valores entre parênteses representam o intervalo de confiança de 95% obtido pelo método BCa (*bias-corrected and accelerated*) com 1.000 reamostras bootstrap (Meyer et al. 1986). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo critério de não sobreposição dos intervalos de confiança de 95% (Payton et al. 2003).

4.6. Projeção do crescimento populacional

Para os valores de projeção do crescimento populacional, testemunha, buprofezina e piriproxifem formaram o grupo de maior crescimento, com R_0 de 67,75, 42,16 e 53,98 respectivamente, resultando em populações estimadas na ordem de 10^{11} , 10^{10} e 10^{10} indivíduos na quinta geração (Figura 11). Embora os três tratamentos não tenham diferido entre si para R_0 ,

as taxas finitas de crescimento diferiram de buprofezina e piriproxifem foram significativamente menores que a testemunha ($\lambda = 1,133$), indicando que mesmo com reprodução líquida elevada, esses produtos reduziram o crescimento diário da população.

Cordyceps fumosorosea apresentou $R_0 = 27,10$, significativamente menor que testemunha e piriproxifem, e $\lambda = 1,098$, diferindo de todos os demais grupos. Na quinta geração a população projetada foi de aproximadamente 10^9 indivíduos, cerca de 100 vezes menor que a testemunha. Ciantraniliprole e malationa foram os únicos tratamentos capazes de suprimir expressivamente o crescimento populacional, com $R_0 = 2,39$ e $1,12$ respectivamente e r_m negativo para malationa ($-0,0076$), indicando declínio populacional no curto prazo. As populações projetadas na quinta geração foram de apenas ~ 3.300 e ~ 170 indivíduos respectivamente, representando reduções de 8 e 6 ordens de grandeza em relação à testemunha.

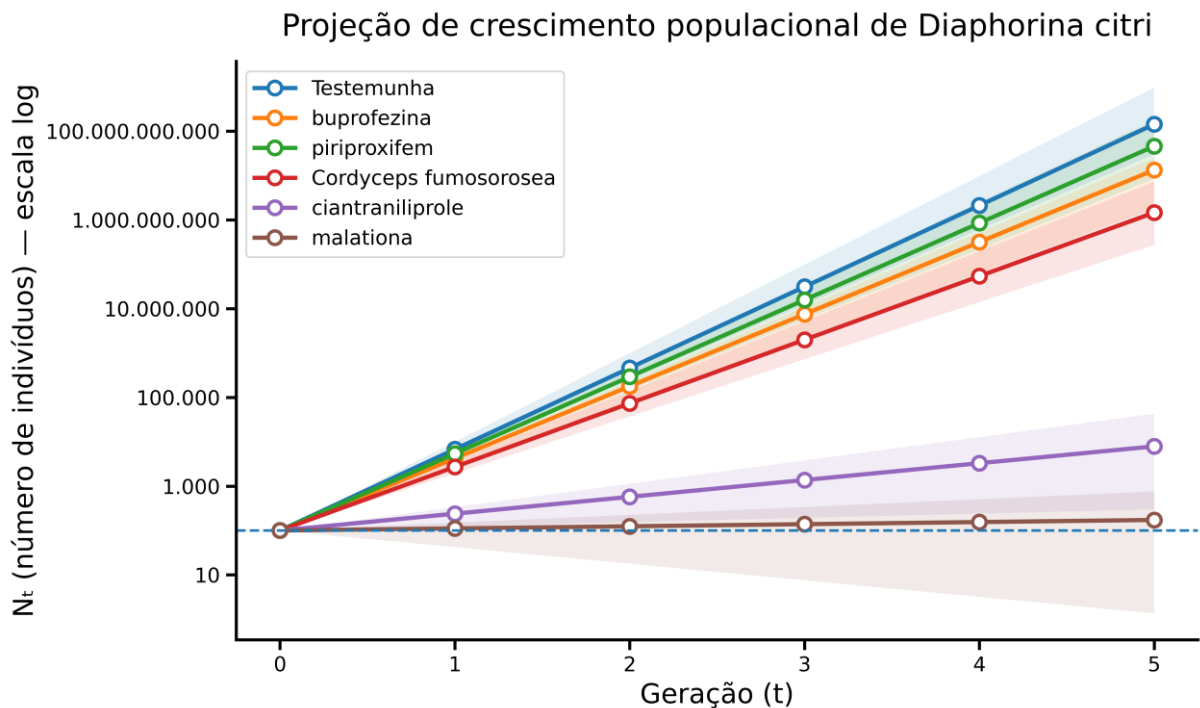


Figura 11. Projeção do crescimento populacional de *Diaphorina citri* ao longo de gerações estimada a partir da taxa líquida de reprodução (R_0) obtida na tabela de vida para os diferentes tratamentos. A projeção foi calculada considerando uma população inicial de 100 indivíduos (N_0) e utilizando a equação $N_t = N_0 \times R_0^t$. Os valores do eixo Y representam \log_{10} do número estimado de indivíduos ao longo das gerações. As linhas representam a projeção central com base no R_0 médio bootstrap, e as faixas sombreadas indicam o intervalo de confiança de 95% BCa obtido com 1.000 reamostras (Meyer et al. 1986). A linha tracejada indica $N_0 = 100$.

5. DISCUSSÃO

Observou-se neste estudo que nenhum dos inseticidas utilizados foi capaz de extinguir completamente a população de *Diaphorina citri*, entretanto diferenças expressivas foram observadas quanto à capacidade de reduzir o potencial de crescimento populacional. Moléculas como ciantraniliprole e malationa promoveram uma redução mais acentuada na taxa de aumento populacional ao longo das gerações, enquanto a buprofezina e *Cordyceps fumosorosea* permitiram um crescimento mediano e o piriproximifem apresentou crescimento semelhante ao da testemunha.

As diferenças no desempenho dos tratamentos sobre a dinâmica populacional de *Diaphorina citri* foram devidas as características de cada molécula e seus respectivos mecanismos de ação e como estes influenciaram parâmetros reprodutivos e o crescimento da população ao longo das gerações. Dentro os inseticidas aqui estudados, pode-se classificar entre os que têm função específica de controlar fases jovens de *D. citri* (piriproximifem e buprofezina) e os que têm ação em todas as fases, como o fungo entomopatogênico (*Cordyceps fumosorosea*) e os inseticidas químicos ciantraniliprole e malationa.

Os inseticidas piriproximifem e buprofezina, não apresentaram mortalidade pois a aplicação foi sob adultos (Figura 7). O piriproximifem interfere principalmente nos processos de muda e metamorfose dos insetos (Ishaaya et al., 1995), o que acarretou baixa mortalidade inicial (7,3%). A redução na oviposição foi de aproximadamente 10%, essa molécula exerce efeitos sutis significativos na reprodução, com relatos de redução na fecundidade das fêmeas entre 39% e 42% nos primeiros três dias após a emergência (Boina et al. 2010). O impacto observado pelos autores foi temporário, persistindo por apenas seis dias antes de retornar aos níveis normais, possivelmente devido à restauração dos títulos de hormônio juvenil após a degradação do produto no organismo. Dessa forma, esse efeito apresenta impacto limitado quando se considera todo o ciclo de vida do inseto. Consequentemente, nos parâmetros da tabela de vida e na estimativa de crescimento populacional ao longo das gerações, o tratamento com piriproximifem não resultou em uma redução, já que a aplicação foi sob adultos e o efeito na fecundidade é limitado a poucos dias.

A buprofezina tem ação na biossíntese de quitina, devido a isso não há efeito sob adultos, o que foi observado na longevidade e mortalidade do trabalho (Figura 7 e 10). Também não foi observado efeito na oviposição, porém este ingrediente ativo inibe fortemente a biossíntese da prostaglandina E2 a partir do ácido araquidônico, como a prostaglandina E2 desempenha um papel crucial na deposição dos ovos, sua inibição impede que a fêmea realize a postura, resultando em um acúmulo anômalo de ovos maduros nos ovários (Uchida et., 1987).

Tiwari et al. 2012, observaram que a aplicação de buprofezina em adultos de *D. citri* apresentou efeito na fecundidade apenas até os dez dias após o tratamento, o que explica a falta do efeito na oviposição, quando avalia todo o ciclo. Entretanto, a buprofezina promoveu redução nos parâmetros da tabela de vida, o que resultou em uma diminuição no potencial de crescimento populacional ao longo das gerações.

Para a *Cordyceps fumosorosea*, apresentou baixa mortalidade. A mesma cepa (ESALQ-1296), foi avaliada por Saldarriaga Ausique et al. (2017), que observaram mortalidade que variou de 58 a 80%. No entanto, a atividade da *C. fumosorosea* depende fortemente de fatores ambientais, especialmente de elevada umidade relativa e da ocorrência de precipitação, condições essenciais para a germinação e infecção pelos esporos (Saldarriaga Ausique et al., 2017), o que pode explicar a diferença de mortalidade observada entre os estudos. Além da mortalidade direta, a infecção por *C. fumosorosea* pode provocar efeitos subletais importantes no comportamento do psilídeo, destacando-se a redução na atividade alimentar (Avery et al., 2011). Os mesmos autores demonstraram que adultos de *D. citri* expostos a formulações contendo conídios do fungo apresentam diminuição significativa na taxa de alimentação a partir do quarto dia após a exposição, efeito que se mantém até a morte do inseto. Essa redução na atividade de sucção de seiva possui grande relevância para o manejo da cultura, pois sugere que o fungo pode contribuir para a diminuição da transmissão da bactéria associada ao HLB (*Candidatus Liberibacter* spp.) pelo vetor, mesmo antes da ocorrência da mortalidade causada pelo patógeno (Avery et al., 2011). Para os parâmetros da tabela de vida, observou-se que este tratamento, com R_0 de aproximadamente 32,9 indivíduos valor inferior ao observado na testemunha, essa redução refletiu diretamente na projeção da curva de crescimento populacional, resultando em um aumento mais limitado do número de indivíduos ao longo das gerações. Esse efeito está diretamente relacionado à mortalidade observada no tratamento, que contribuiu para reduzir o número de indivíduos sobreviventes e, conseqüentemente, o potencial de crescimento populacional ao longo das gerações.

O ciantraniliprole apresentou alta mortalidade no presente estudo, resultado semelhante ao observado por Tiwari e Stelinski (2013), que avaliaram a eficácia dessa molécula em condições de laboratório e campo e relataram mortalidade entre 80 - 90% para *Diaphorina citri*. A longevidade dos adultos também foi reduzida, provavelmente em decorrência do efeito fisiológico provocado pelo inseticida, que atua sobre os receptores de rianodina, promovendo liberação descontrolada de cálcio nas células musculares e causando paralisia progressiva e redução da atividade alimentar. Como a avaliação da longevidade foi iniciada três dias após a

aplicação, é provável que os insetos já estivessem sob efeito do inseticida, apresentando comprometimento fisiológico e menor capacidade de sobrevivência, o que resultou na redução da longevidade observada. Esta paralisia progressiva e redução da atividade é particularmente relevante para o manejo do inseto vetor, uma vez que pode contribuir para diminuir a transmissão da bactéria associada ao huanglongbing (HLB), *Candidatus Liberibacter* spp., cuja disseminação ocorre durante o processo de alimentação no floema das plantas cítricas. Como consequência da elevada mortalidade observada e da redução na longevidade dos adultos, o tratamento com ciantraniliprole resultou em uma das menores projeções de crescimento populacional ao longo das gerações. A curva de crescimento demonstra uma forte limitação no aumento do número de indivíduos quando comparada à testemunha e aos demais tratamentos, indicando que a ação desse inseticida impacta significativamente os parâmetros demográficos da população.

Embora a malationa tenha apresentado $\lambda < 1$ indicando declínio populacional no curto prazo, o valor de $R_0 = 1,12 > 1$ sugere que as fêmeas sobreviventes ainda foram capazes de repor a população ao longo de uma geração completa. Essa aparente contradição reflete dinâmicas temporais distintas: enquanto λ captura o crescimento diário fortemente impactado pela alta mortalidade imposta pelo inseticida o R_0 integra toda a contribuição reprodutiva ao longo da vida das fêmeas que sobreviveram à exposição. Assim, a malationa promoveu supressão parcial da capacidade reprodutiva de *D. citri*, sem eliminá-la completamente, o que é consistente com os efeitos subletais descritos para inseticidas organofosforados, como redução na alimentação e na fecundidade de indivíduos expostos a doses não letais (Haynes, 1988). Esses resultados reforçam que a avaliação isolada de mortalidade pode superestimar a eficiência de controle, sendo a análise da tabela de vida uma ferramenta complementar indispensável para compreender o impacto real dos inseticidas sobre a dinâmica populacional do psilídeo. Inseticidas organofosforados, como a malationa, têm sido muito utilizados no manejo de *Diaphorina citri*, apresentando capacidade de reduzir populações do psilídeo em programas de controle químico. No entanto, variações na suscetibilidade entre populações e o risco de evolução de resistência reforçam a necessidade de estratégias de manejo de resistência e rotação de modos de ação (Qureshi & Stansly, 2014; Kanga et al., 2015).

6. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A elevada capacidade reprodutiva do psílídeo-dos-citros representa um fator crítico para o manejo desse vetor. Mesmo quando os inseticidas proporcionam altos níveis de controle, a pequena fração de indivíduos sobreviventes pode rapidamente restabelecer a população, devido ao elevado potencial de multiplicação da espécie. Por esse motivo, programas de manejo recomendam aplicações com intervalos curtos entre tratamentos, de modo a reduzir as chances de o inseto completar seu ciclo de vida e, conseqüentemente, limitar o crescimento populacional da praga. Além disso, a adoção do manejo integrado de pragas contribui para reduzir a pressão de seleção para resistência nas populações do psílídeo, auxiliando na preservação da eficácia de moléculas inseticidas. Esse aspecto é particularmente importante para ingredientes ativos como o ciantraniliprole, para o qual, até o momento, não há relatos de resistência em populações de *Diaphorina citri* no Brasil.

E no caso da utilização de inseticidas reguladores de crescimento, é importante que seu uso seja associado a inseticidas com ação sobre adultos de *Diaphorina citri*, garantindo o controle das diferentes fases do inseto e aumentando a eficiência do manejo da população.

7. CONCLUSÃO

Com as condições encontradas neste trabalho, confirma-se a hipótese inicial, que a ineficiência no controle populacional de *Diaphorina citri* em campo está associada ao uso recorrente de inseticidas com baixa capacidade de interromper o ciclo biológico do inseto, visto que nenhum dos inseticidas foi capaz de extinguir a população, seja por reduzida eficácia letal imediata ou por comprometer parcialmente os parâmetros biológicos (longevidade, fecundidade, fertilidade e emergência), favorecendo a persistência populacional.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA DO PARANÁ (ADAPAR). **TEC Isaria**. Curitiba, 2024. Disponível em: https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2024-10/tecisaira.pdf. Acesso em: 24 fev. 2026.
- ARENAS, J. C. C. **Huanglongbing e *Diaphorina citri*: estudos das relações patógeno-vetor-hospedeiro**. 2017. 133 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/0355967d-c58b-4e00-89f3-c2082bbc3663/content>. Acesso em: 29 jan. 2026.
- AVERY, P. B. et al. Effects of the fungus *Isaria fumosorosea* (Hypocreales: Cordycipitaceae) on reduced feeding and mortality of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae). **Biocontrol Science and Technology**, v. 21, n. 9, p. 1065–1078, 2011.
- BASSANEZI, R. B. et al. Epidemiologia do huanglongbing e suas implicações para o manejo da doença. **Citrus Research & Technology**, Cordeirópolis, v. 31, n. 1, p. 11–23, 2010.
- BIANCHI, O. S. **Eficácia de inseticidas em populações de *Diaphorina citri* provenientes de diferentes regiões do estado de São Paulo**. 2024. 63 f. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade) – Fundo de Defesa da Citricultura, Araraquara, 2024.
- BOINA, D. R. et al. Effect of pyriproxyfen, a juvenile hormone mimic, on egg hatch, nymph development, adult emergence and reproduction of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama. **Pest Management Science**, v. 66, n. 4, p. 349–357, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.1880>.
- CHIRINOS, D. T.; CHÁVEZ, Y.; CASTRO, R. Biology and population statistics of *Diaphorina citri* Kuwayama under two rearing conditions on *Murraya paniculata*. **Bioagro**, v. 30, n. 3, p. 221–226, 2018.
- CONCESCHI, M. R. **Potencialidade dos fungos entomopatogênicos *Isaria fumosorosea* e *Beauveria bassiana* para o controle de pragas dos citros**. 2013. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2013.
- CORDOVA, D. et al. Anthranilic diamides: a new class of insecticides with a novel mode of action, ryanodine receptor activation. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 84, n. 3, p. 196–214, 2006.
- EFRON, B.; TIBSHIRANI, R. J. **An introduction to the bootstrap**. New York: Chapman & Hall, 1993. 436 p.
- FARIAS, A. P. et al. Dinâmica populacional e parasitismo natural de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) em pomares de citros em Sergipe. **EntomoBrasilis**, v. 11, n. 1, p. 20–25, 2018.
- HAYNES, K. F. Sublethal effects of neurotoxic insecticides on insect behavior. **Annual Review of Entomology**, v. 33, p. 149–168, 1988.

ISHAAYA, I.; HOROWITZ, A. R. Pyriproxyfen, a novel insect growth regulator for controlling whiteflies: mechanisms and resistance management. **Pesticide Science**, v. 43, n. 3, p. 227–232, 1995.

JAVED, S. et al. Effect of different insecticides against citrus psylla, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) at Ari-Tarnab, Peshawar. **Zoobotanica**, 2023.

KANGA, L. H. B. et al. Monitoring for insecticide resistance in Asian citrus psyllid (*Diaphorina citri*) populations in Florida. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, p. 242–249, 2015.

LUO, Y. et al. Identification of a *Cordyceps fumosorosea* fungus isolate and its pathogenicity against Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*. **Insects**, v. 13, p. 374, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects13040374>.

MEYER, J. S.; INGERSOLL, C. G.; McDONALD, L. L.; BOYCE, M. S. Estimating uncertainty in population growth rates: jackknife vs. bootstrap techniques. **Ecology**, Durham, v. 67, n. 4, p. 1156–1166, 1986.

NAKATA, T. A simple method for marking insects with fluorescent powder for mark–release–recapture studies. **Applied Entomology and Zoology**, v. 43, p. 1–5, 2008.

PARRA, J. R. P. et al. Bioecologia do vetor *Diaphorina citri* e transmissão de bactérias associadas ao Huanglongbing. **Citrus Research & Technology**, v. 31, n. 1, p. 37–51, 2010.

PAYTON, M. E.; GREENSTONE, M. H.; SCHENKER, N. Overlapping confidence intervals or standard error intervals: what do they mean in terms of statistical significance? **Journal of Insect Science**, Tucson, v. 3, n. 34, p. 1–6, 2003.

QURESHI, J. A.; STANSLY, P. A. Exclusion techniques reveal significant biotic mortality suffered by Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* populations in Florida citrus. **Biological Control**, v. 50, p. 129–136, 2009.

QURESHI, J. A.; STANSLY, P. A. Insecticidal suppression of Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) in Florida citrus. **PLOS ONE**, v. 9, n. 12, e112331, 2014.

SALDARRIAGA AUSIQUE, J. J. et al. Selection of entomopathogenic fungi for the control of *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae). **Biological Control**, v. 110, p. 1–7, 2017.

SILVA, L. O. T.; DE CARLI, B. P. Efeitos do malathion no sistema nervoso central: uma revisão breve. **Journal of Health Sciences Institute**, v. 39, n. 1, p. 29–32, 2021.

TIWARI, S. et al. Effects of buprofezin and diflubenzuron on various developmental stages of Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*. **Pest Management Science**, v. 68, n. 10, p. 1405–1412, 2012.

UCHIDA, M.; IZAWA, Y.; SUGIMOTO, T. Inhibition of prostaglandin biosynthesis and oviposition by an insect growth regulator, buprofezin, in *Nilaparvata lugens*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 27, p. 71–75, 1987.

