



CONTROLE BIOLÓGICO NA CITRICULTURA

ORGANIZADORES

DANIEL JÚNIOR DE ANDRADE

GUILHERME DUARTE ROSSI

JAQUELINE FRANCIOSI DELLA VECHIA

**FÁ
BRI
CA**
DA PALAVRA

30
ANOS

C764 Controle biológico na citricultura / organizadores, Daniel Júnior de Andrade, Guilherme Duarte Rossi, Jaqueline Franciosi Della Vechia. -- Jaboticabal : Fábrica da Palavra, 2025.
Recurso digital

Formato: ePDF

Requisitos do sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-65-988487-0-5

1. Citricultura. 2. Entomopatógenos. 3. Parasitoides. 4. Predadores. 5. Controle biológico. I. Andrade, Daniel Júnior de. II. Rossi, Guilherme Duarte. III. Della Vechia, Jaqueline Franciosi.

CDU 632.937:634.3

CONTROLE BIOLÓGICO NA CITRICULTURA

Organizadores

Daniel Júnior de Andrade

Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Guilherme Duarte Rossi

Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Jaqueline Franciosi Della Vechia

Fundo de Defesa da Citricultura, Fundecitrus, Araraquara

Prefácio

A citricultura está entre as principais atividades agrícolas do Brasil, com o país consolidado como o maior produtor e exportador mundial de suco de laranja. Além de sua importância econômica, o setor desempenha um papel socioeconômico fundamental, gerando milhares de empregos e contribuindo significativamente para o desenvolvimento de diversas regiões. No entanto, enfrenta uma série de desafios que ameaçam sua viabilidade econômica e preocupam os citricultores. Entre as principais ameaças estão os problemas fitossanitários, causados por pragas e doenças que comprometem a sanidade das plantas e elevam os custos de produção.

Por outro lado, a citricultura brasileira vive um momento ímpar, uma vez que se encontra ameaçada pelo avanço da doença bacteriana Huanglongbing (HLB) e ao mesmo tempo com oportunidades relacionadas aos preços e a migração para novas áreas. Trata-se de um cenário complexo, que tem impulsionado a adoção de práticas de manejo mais sustentáveis, entre as quais destaca-se o controle biológico, uma das principais táticas do Manejo Integrado de Pragas e Doenças.

Neste cenário, a motivação para a redação do livro “Controle Biológico na Citricultura” veio após a idealização do “I Workshop de Controle Biológico na Citricultura” realizado nos dias 20 e 21 de março de 2025 no Centro de Convenções da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias-Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FCAV-UNESP) com apoio da Fundação de Apoio à Pesquisa, Ensi-

no e Extensão (Funep, Jaboticabal-SP), Fundo de Defesa da Citricultura (Fundecitrus, Araraquara-SP) e FCAV-Unesp.

A comissão organizadora, palestrantes e colaboradores redigiram conteúdos relacionados à aplicação do controle biológico para o manejo de pragas e doenças de relevância na citricultura. O controle biológico na citricultura não é uma novidade e a citricultura é historicamente conhecida pela alta capacitação técnica da cadeia produtiva e alta adesão a tecnologias. Com as recentes novidades em tecnologias de controle biológico, a adoção dessas novidades em controle biológico tem sido observada e encontra-se em expansão e em desenvolvimento na citricultura.

O presente livro traz informações relativas ao histórico e atualidades em controle biológico na citricultura com o intuito de informar e inspirar consultores, técnicos, produtores, pesquisadores e professores para consequente otimização da utilização do controle biológico na citricultura.

Os Organizadores,

Daniel Júnior de Andrade

Guilherme Duarte Rossi

Jaqueline Franciosi Della Vechia

Sumário

07

01. Controle Biológico na cultura dos citros

Alexandre Diniz

28

02. Controle Biológico de doenças na citricultura

Antonio de Goes e Tais Ferreira de Almeida

43

03. Evolução das pragas e doenças na citricultura e mudanças no manejo

Renato Beozzo Bassanezi

49

04. Avanços e perspectivas para incorporação do controle biológico no manejo integrado de ácaros

Daniel Júnior de Andrade

64

05. Utilização de ácaros predadores no controle do ácaro-da-leprose

Daniel Carrillo, Jaqueline Franciosi Della Vechia,
Daniel Júnior de Andrade e Amy L. Roda

77

06. Tecnologia no uso de ácaros predadores resistentes a agrotóxicos

Mário Eidi Sato

88

07. Manejo de cochonilhas com produtos biológicos e naturais

Pedro Takao Yamamoto, Fernando Henrique Iost Filho e Ana Clara Ribeiro de Paiva Iost

95

08. Eficiência de produtos biológicos e naturais no controle de *Diaphorina citri*

Rogério Teixeira Duarte, Leonardo Gazoli e Humberto Vinicius Vescove

104

09. Resultados de pesquisa sobre o uso de produtos biológicos no manejo de pragas dos citros

Danilo Franco, Renan Moisés Paneghini Zanata e Leandro Aparecido Fukuda

116

10. Compatibilidade na citricultura: mistura em tanque em termos aplicados

Rogério Teixeira Duarte e Ricardo Antônio Polanczyk

127

11. Tecnologia de aplicação de produtos biológicos

Jaqueline Franciosi Della Vechia

135

12. Contribuições de conceitos em Fisiologia de Insetos para o manejo biológico de pragas

Guilherme Duarte Rossi

01

Controle Biológico na cultura dos citros

Alexandre Diniz

-  Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos
-  FEIS/UNESP, Ilha Solteira, São Paulo
-  jose.diniz@unesp.br

Contextualização

O tema “Controle Biológico” antes restrito à academia ou a setores específicos como da cana-de-açúcar, apresentou um aumento significativo de interesse nos últimos anos, estando constantemente presente nos meios de comunicação direcionados ao setor agropecuário.

Esse interesse se deve a uma série de fatores como a pressão do mercado consumidor pela redução do uso de produtos fitossanitários sintéticos, o aumento dos casos de resistência de pragas e doenças a produtos convencionais ou ainda à redução dos custos pela possibilidade de produção dos próprios insumos na propriedade (Parra et al., 2021; EMBRAPA, 2024).

Outros fatores mais específicos podem ser citados como a detecção e dispersão de *Helicoverpa armigera* (Hübner, [1808]) (Lepidoptera: Noctuidae) a partir de 2013, que foi registrada atacando inclusive pomares de laranja (Bueno et al., 2012; Paiva e Yamamoto, 2014) e cujas dificuldades iniciais de controle levaram empresas e agricultores na busca de produtos alternativos como bioinsumos.

Outros pontos importantes são a criação do Plano Nacional de Bioinsumos em 2020 e a aprovação da lei 15.070 que regulamenta a produção e a comercialização destes produtos em 2024 (EMBRAPA, 2024; BRASIL, 2025).

O mercado brasileiro de bioinsumos é considerado líder mundial do setor apresentando mais de 1.000 produtos registrados, sendo que 75% destes vieram ao mercado entre 2010 e 2024 (MAPA, 2024). Seu crescimento também apresenta a taxa mais acelerada, de cerca de 30% ao ano, contra 18% do restante do mundo. Segundo a consultoria IHS Markit (2021) há uma projeção de que em 2030 este setor alcance um valor de R\$ 16,9 bilhões, considerando uma taxa de crescimento acumulada de 25% até aquele ano (Figura 1).

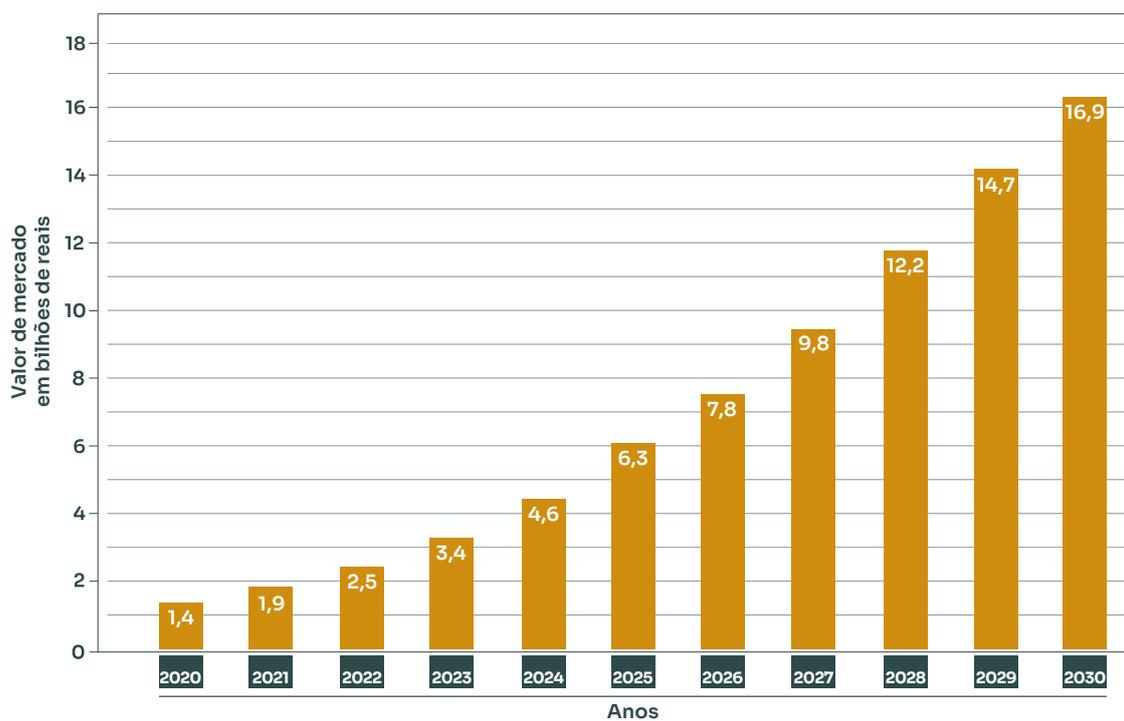


Figura 1

Taxa de crescimento do mercado de produtos biológicos no Brasil (em bilhões de reais). Adaptado de IHS Markit (2021).

01 • CONTROLE BIOLÓGICO NA CULTURA DOS CITROS

Segundo Alison (2024) mais de 50% das propriedades brasileiras já utilizam algum tipo de bioinsumo, contra uma média de 20% do restante do mundo. Atualmente, o país possui 170 biofábricas e uma área tratada de 25 milhões de hectares, sendo a cana-de-açúcar a cultura com maior taxa de utilização.

Adaptando-se o conceito apresentado na lei 15.070, de forma resumida, os bioinsumos, podem ser definidos como produtos ou processos, de origem biológica, mesmo que biotecnológica,

destinados a quaisquer processos relacionados à produção agropecuária, com objetivo de interagir com outros organismos, controlando-os, no caso de pragas e doenças, alterando ou estimulando-os no caso de elementos da própria produção, principalmente plantas ou animais.

Eles podem ser divididos em Bioagentes, visando principalmente ao controle, Bioestimulantes, visando, principalmente, ao crescimento de plantas e animais e Biofertilizantes, visando à fertilização (Parra et al., 2021) (Figura 2).

| BIOINSUMOS | | | | | | |
|------------------|-----------------|---|-----------------|-----------------------------|------------------|--|
| BIOAGENTES | | | BIOESTIMULANTES | | BIOFERTILIZANTES | |
| MACRO-ORGANISMOS | | BIOINSETICIDAS, BIOFUNGICIDAS E BIOHERBICIDAS | | MANEJO ABIÓTICO DE ESTRESSE | | MICROBIOLÓGICOS |
| INSETOS | MICROORGANISMOS | BIOQUÍMICOS | | AMINOÁCIDOS | | FIXADORES DE N |
| ÁCAROS | BACTÉRIAS | SEMIOQUÍMICOS | | MICROORGANISMOS | | SOLUBILIZADORES DE P ₂ O ₅ |
| | FUNGOS | EXTRATO DE PLANTAS | | EXTRATO DE PLANTAS | | MOBILIZADORES DE K |
| | VÍRUS | MINERAIS | | ÁCIDOS ORGÂNICOS | ALGAS | OUTROS |
| | NEMATÓIDES | PROMOTORES DE CRESCIMENTO VEGETAL | | | | |
| | PROTOZOÁRIOS | ÁCIDOS ORGÂNICOS | | | | |

Figura 2
Principais categorias de Bioinsumos.
Adaptado de Parra et al. (2021).

Um conceito errôneo que pode surgir para aqueles que não têm conhecimento mais aprofundado sobre o tema, é que bioinsumos ou o controle biológico são produtos de alta tecnologia criados recentemente, como plantas transgênicas, por exemplo, quando na verdade a maior parte dos bioinsumos são organismos ou substâncias já presentes na natureza, que recebem algum tratamento visando melhorar sua ação ou conservação.

Sua prospecção se inicia normalmente pesquisando-se sobre o conhecimento de povos tradicionais. Um bom exemplo é a Azadiractina, substância com uma série de ações, que é extraída, principalmente de folhas e frutos da árvore de neem, *Azadirachta indica* A. Juss. (Meliaceae) e cujas propriedades já são conhecidas pelos indianos há milhares de anos (Martinez, 2011).

O controle biológico, aquele relacionado à redução de pragas e doenças, não é uma “tecnologia nova”, mas segundo van den Bosch et al. (1982) trata-se de um fenômeno natural que consiste na regulação de populações de organismos promovida por outros organismos, sendo estes últimos chamados de agentes de controle. Constitui-se assim na fonte de mortalidade biótica no ambiente.

O controle biológico, aquele muito citado nas mídias atualmente, trata-se deste fenômeno natural que pode ser manipulado pelo homem com objetivo de se obter um manejo direcionado de pragas e doenças e por essa razão recebe o nome de controle biológico aplicado (CBA). Este por sua vez divide-se em três categorias, CBA Clássico, CBA Conservativo e CBA Aumentativo.

A estratégia CBA Clássico é direcionado para pragas exóticas. Nesse caso procura-se por um inimigo natural no local de origem da praga, esse é então introduzido, multiplicado em média escala e liberado ao longo de meses ou anos. Espera-se que esse

agente colonize o ambiente reduzindo a população da praga em um nível de equilíbrio de uma forma duradoura em longo prazo. Esse tipo normalmente é promovido por órgãos públicos como centros de pesquisa ou universidades.

O tipo CBA Conservativo não envolve criação ou liberação dos agentes de controle, mas sim a manipulação do ambiente de cultivo visando prover locais de abrigo e oviposição ou fonte de alimento para adultos. Dessa forma o local torna-se favorável à colonização de predadores e parasitoides facilitando sua ação sobre pragas. Neste tipo espera-se a redução das populações ao longo de semanas ou meses, sendo mais utilizado em sistemas não convencionais de agricultura como Agrofloresta, Biodinâmica ou Orgânica.

O CBA Aumentativo é aquele que mais tem recebido destaque nos últimos anos. Nesse caso, é realizada a produção em larga escala de agentes de controle, nativos ou exóticos, em biofábricas. Esses são tratados como produtos e comercializados em altas doses. Nesse tipo de estratégia espera-se o controle em um prazo curto de dias ou semanas, sendo por isso semelhante às estratégias de manejo químicos já utilizadas pelos agricultores e, assim, mais facilmente aceita por eles. O CBA Aumentativo é desenvolvido normalmente por companhias privadas de pequeno ou grande porte.

Ainda dentro deste conceito encontra-se a produção do tipo *on-farm*, na qual a criação do agente de controle é conduzida pelo agricultor para consumo próprio. Há uma considerável redução de custos devido à redução de problemas logísticos e isenção de burocracias de registro. Por outro lado, há uma necessidade grande de controle de qualidade do produto que por sua vez não pode ser comercializado.

O Controle Biológico na cultura dos citros

Histórico

A cultura citrícola tem longa história junto do controle biológico. A perenidade, estrutura arbórea, a possibilidade de agregar valor ao produto final e exportação são características da cultura que favorecem a adoção de estratégias de CB (Yamamoto, 2006).

Do ponto de vista histórico os citros são a cultura para qual há o primeiro relato histórico de Controle Biológico Aplicado. Segundo Liu et al. (2014) existem registros de que no ano 304 antes de Cristo produtores de laranjas do sudeste chinês utilizavam formigas tecelãs da espécie *Oecophylla smaragdina* (Fabricius, 1775) (Hymenoptera: Formicidae). De acordo com McCook (1882) essas formigas conhecidas como formigas amarelas dos citros (na tradução), formam colônias “costurando”

folhas, de formato próximo do esférico e com 30 a 40 cm de diâmetro, por isso chamadas também de formigas tecelãs. Esses ninhos ficam na copa das árvores, ou no caso daquele país, em bambuzais nas colinas.

Ainda segundo aquele autor havia um comércio, no qual durante a primavera e verão agricultores coletavam e vendiam esses ninhos aos produtores de laranja. De modo a otimizar o processo, eram colocadas estacas de bambu ligando as plantas de citros entre si para facilitar a movimentação das formigas entre as árvores (Figura 3). Era também disponibilizada banha de porco durante o inverno para garantir a sobrevivência dos ninhos. Essas formigas atuavam como predadoras de lagartas e cochonilhas.

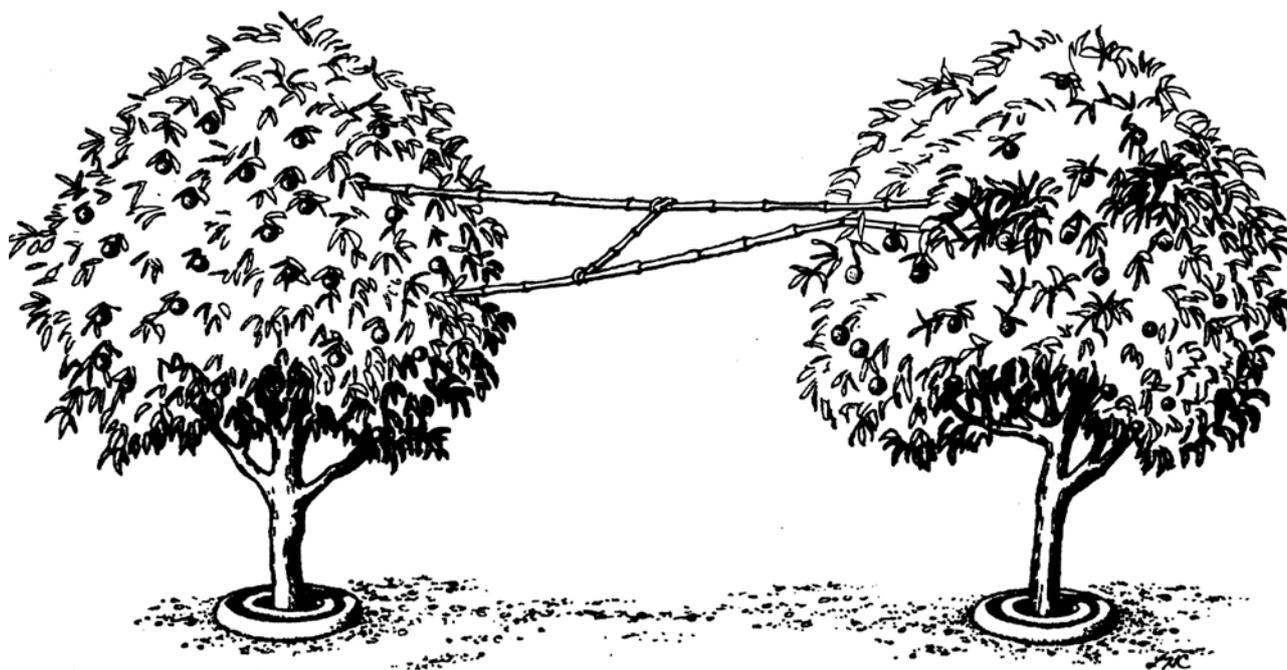


Figura 3

Estrutura utilizada pelos chineses no século III AC para movimentação de formigas predadoras entre plantas de citros, para controle de lagartas (Adaptado de Debach, 1983).

Ainda de acordo com Peng (1983) existem registros do uso de outras espécies de formigas, sapos e aves para ações de controle biológico desde o século III AC até os anos 1800 da nossa era. Um dos marcos históricos mais importantes do CBA também envolve a cultura dos citros. Tendo ficado conhecido com o nascimento do controle biológico da era moderna (Parra et al., 2002).

Na segunda metade do século IX a costa leste norte-americana presenciava um intenso crescimento da sua atividade agrária contando com a implantação de uma série de culturas agrícolas exóticas, com materiais vindo de diferentes partes do mundo sem uma fiscalização fitossanitária adequada (van den Bosch et al., 1982).

No ano de 1868 é registrada pela primeira vez na Califórnia a cochonilha *Icerya purchasi* Maskell, 1879 (Hemiptera: Monophlebidae) em plantas de acácia. Nos anos seguintes ela se espalha rapidamente se estabelecendo em pomares de laranja de toda região em 1876 e passando a ser considerada a pior praga da cultura a partir de 1880.

Uma vez confirmada a origem australiana da praga, o serviço de horticultura do estado da Califórnia juntamente do Departamento Nacional de Agricultura dos Estados Unidos enviou o entomologista Albert Koebele para Austrália em 1888, naquele país ele identificou dois principais inimigos naturais da praga, a mosca parasitoide *Cryptochetum iceryae* (Williston, 1888) (Diptera: Cryptochetidae) e a joaninha predadora *Rodolia cardinalis* (Mulsant, 1850) (Coleoptera: Coccinellidae), atualmente classificada como *Novius cardinalis* (Mulsant, 1850) (Coleoptera: Coccinellidae).

Amostras de ambos os inimigos naturais foram enviadas aos EUA e criadas nos próprios pomares de produção. Para isso, plantas adultas de citros recebiam poda drástica para emissão de novos brotos, ideais para desenvolvimento da praga, que era em seguida introduzida. As plantas eram cobertas totalmente com uma tela e após a colonização pela praga os inimigos naturais eram liberados no interior da estrutura, respeitando-se o ciclo biológico dos inimigos naturais, próximo da emergência dos adultos a tela era retirada permitindo assim a dispersão deles para as plantas vizinhas (van den Bosch et al., 1982).

Devido ao potencial biótico e voracidade daquele predador as populações de *I. purchasi* reduziram-se significativamente em um nível não sendo mais consideradas pragas de importância econômica. Esse evento de grande sucesso passou a ser considerado como primeiro caso de CBA Clássico do mundo e o marco de nascimento do CBA (Parra et al., 2021).

Devido a esse sucesso, Albert Koebele foi enviado novamente à Austrália em 1892 tendo trazido e introduzido nos EUA, as joaninhas *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant, 1853 e *Rhyzobius ventralis* (Erichson, 1842) (Coleoptera: Coccinellidae), predadoras importantes de cochonilhas dos gêneros *Planoccocus* Ferris, 1950 (Hemiptera: Pseudococcidae) e *Saissetia* Déplanche, 1858 (Hemiptera: Coccidae), ambas atacando laranja. Embora *C. montrouzieri* tenha também obtido sucesso, *R. ventralis* não se estabeleceu, fato este atribuído a incapacidade de suportar o inverno, bem como o uso de alguns produtos químicos, sendo este o primeiro caso relatado de insucesso de um programa de CB relacionado ao uso de produtos sintéticos (van den Bosch et al., 1982).

Histórico no Brasil

Importação de *Tetrastichus giffardianus* para controle de mosca-das-frutas

Embora o Brasil já tivesse exemplos de ações de Controle Biológico Aumentativo (CBA) Clássico, como a importação dos parasitoides *Encarsia berleseii* (Howard, 1906) (Hymenoptera: Aphelinidae) e *Prorops nasuta* Waterson, 1923 (Hymenoptera: Aphelinidae) em 1921 e 1923, respectivamente, para o manejo da cochonilha-branca-do-pessegueiro e da broca-do-café, em 1937, o Instituto Biológico de São Paulo importou o parasitoide *Tetrastichus giffardianus* Silvestri, 1915 (Hymenoptera: Eulophidae) para o controle da mosca-do-Mediterrâneo, *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824) (Diptera: Tephritidae), a qual ataca uma série de hospedeiros, mas naquele momento os citros estavam entre os mais importantes (Autuori, 1938; Fonseca, 1938).

Embora não existam registros sobre os resultados deste programa nos anos posteriores, em 2005, Costa et al. (2005) reportaram que a espécie foi recuperada de amostras oriundas da região nordeste indicando que ela se estabeleceu no território e migrou, uma vez que não existem relatos de outras introduções.

Existem parasitoides nativos dos gêneros *Doryctobracon* Enderlein, 1920, *Utetes* Förster, 1862 e *Opius* Wesmael, 1835 (Hymenoptera: Braconidae) e *Aganaspis* Lin., 1987 (Hymenoptera: Figitidae) já registrados. Estes, porém, não promovem taxas de parasitismo altas para supressão do dano da mosca (Yamamoto, 2006).

Também focado no controle de mosca-das-frutas, embora, nesse caso, com objetivo final direcionado a outras frutas, foi feito nos anos 1990 (Walder, 2002). No Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA/USP) foi estabelecida uma criação massal de *C. capitata* visando utilização da técnica de macho estéril. Aproveitando-se dessa estrutura, foi iniciada uma produção do parasitoide larval *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead, 1905) (Hymenoptera, Braconidae), este havia sido importado em 1994 pela EMBRAPA Mandioca e Fruticultura. Trata-se de uma espécie de origem asiática que foi introduzida em outras regiões do mundo com sucesso como nos EUA (Flórida e Havaí) (Yamamoto, 2006).

Programa de manejo de *Orthezia praelonga*

No começo dos anos 1960, é reportado por Giacometti (1962) um intenso ataque aos pomares cítricos do Sudeste por *Praelongorthezia praelonga* (Douglas, 1891) (Hemiptera: Ortheziidae). Decorrente deste problema e de outros como a broca-da-cana e broca-pequena-do-tomateiro, foi organizado o Primeiro Simpósio Brasileiro sobre Controle Biológico entre 12 e 13 de junho de 1962. Este evento foi promovido pelo Instituto de Ecologia e Experimentação Agrícola do Ministério da Agricultura e contou com a presença de importantes pesquisadores como Koogan e Paul DeBach.

Esse evento resultou na criação de um insetário para estudos biológicos e de possíveis agentes de controle biológico de *P. praelonga*, produção de parasitoides do gênero *Trichogramma* Westwood, 1833 para controle da broca-pequena, parasitoides do gênero *Aphytis* Howard, 1900 para controle de cochonilhas dos citros (Peracchi, 1962).

Não foram encontrados dados posteriores sobre os resultados desse programa.

Feromônio sexual no manejo do bicho-furão-dos-citros

O bicho-furão-dos-citros, *Gymnandrosoma aurantiana* Lima, 1927 (Lepidoptera: Tortricidae) é uma praga conhecida no Brasil desde o começo do século XX, mas foi a partir dos anos 1990 que ele assume importância econômica, provavelmente devido a intensificação do controle químico com eliminação de inimigos naturais (Bento et al., 2004).

A praga atua de modo semelhante às moscas-das-frutas, ovos são colocados na casca, a lagarta penetra no fruto e passa a se alimentar da polpa promovendo queda dos mesmos. A partir de 1990 ocorreu uma redução da produção de 20 a 30% decorrente do ataque da praga (Miranda et al., 2022).

Embora tenha sido verificada a ação de um parasitoide nativo, *Hymenochaonia delicata* (Cresson, 1872) (Hymenoptera: Braconidae), outro bioinsumo foi fundamental para manejo da praga (Yamamoto, 2006). Neste caso o desenvolvimento do feromônio sexual sintético teve um papel determinante na sustentabilidade do controle do bicho-furão.

A definição do plano de amostragem da praga foi importante para o momento correto de uso de inseticidas uma vez que há uma estreita janela para atingi-la, pois os adultos se movimentam pouco e o tempo entre a eclosão da larva e sua penetração no fruto também é curto. Uma vez dentro no fruto, praticamente não há medida eficaz de controle. A amostragem anterior era baseada em frutos atacados, ou seja, o dano já havia ocorrido. A partir do final dos anos 1990 determina-se o feromônio sexual e no começo dos 2000 ocorre a síntese da versão sintética que passa a ser utilizada em 2004 (Bento et al., 2004).

O uso se baseia no aumento da atividade sexual de adultos, antes da maior parte das posturas, reduzindo-se, desse modo, os danos. O controle continua sendo por meio de inseticidas sintéticos, mas de forma muito mais precisa, quanto a dose, local e tempo de aplicação.

Como possibilidades promissoras para manejo da praga estão o uso do fungo entomopatogênico *Cordyceps fumosorosea* (Wize) Kepler, B.Shrestha & Spatafora e do parasitoide de ovos *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) que ainda apresentam compatibilidade com produtos sintéticos (Cantori et al., 2023).

Esse programa foi considerado um sucesso, uma vez que a redução de perdas e economia de recursos antes utilizados para manejo da praga, foi estimada em 150 milhões de dólares ao longo de 10 anos de uso do feromônio, entre 2004 e 2014 (Bento et al., 2017).

Parasitoide do minador-dos-citros: um clássico de sucesso

O minador-dos-citros, *Phyllocnistis citrella* Stainton, 1856 (Lepidoptera: Gracillariidae) é uma pequena mariposa cujos danos no Brasil se intensificaram na segunda metade dos anos 1990 (Miranda et al., 2022). Trata-se de um inseto que oviposita em ramos novos em desenvolvimento, suas larvas têm hábito minador, desenvolvem-se dentro das folhas. Isso faz com que haja desde encarquilhamento até perda total de um novo fluxo vegetativo (Gallo et al., 2002). Um dano secundário importante é o aumento da infestação por cancro cítrico decorrente das lesões de entrada da praga nas folhas.

Em função do hábito minador houve uma dificuldade de controle por meio de inseticidas químicos sintéticos. Nesse caso, também foram registrados parasitoides nativos das famílias Eulophidae e Calcididae, mas com taxas muito variáveis (Yamamoto, 2006).

Decidiu-se pela importação do parasitoide *Ageniaspis citricola* Logvinovskaya, 1983 (Hymenoptera: Encyrtidae) por meio de um programa de CBA Clássico promovido pelo Fundecitrus, USP/ESALQ e Gravena Manecol (Chagas et al., 2002). Essa decisão se deveu ao desempenho observado em outros países com EUA (80% de parasitismo), Argentina (89%) e Peru (98%).

Em junho de 1998 foi realizada a importação de cerca de 2000 indivíduos oriundos do estado da Flórida (EUA), que foram multiplicados no Departamento de Entomologia e Acarologia da ESALQ e passaram a ser liberados em regiões produtoras do estado de São Paulo, compreendendo uma área de cerca de 800.000 ha e 75 municípios (Figura 4). De outubro de 1998 ao final de 2001 foram liberados mais 350.000 indivíduos.



| | | | |
|----------------------|-------------------|---------------------|----------------------|
| Adolfo | Catanduva | Limeira | Pongai |
| Aguai | Colômbia | Lins | Reginópolis |
| Altair | Cordeirópolis | Macedônia | Ribeirão Bonito |
| Américo Brasiliense | Descalvado | Matão | Rincão |
| Amparo | Dobrada | Mococa | Santa Lúcia |
| Araraquara | Dourado | Mogi-Guaçu | Sarapuí |
| Araras | Engenheiro Coelho | Monte Alto | Tabatinga |
| Barretos | Gavião Peixoto | Monte Azul Paulista | Taboão |
| Bebedouro | Getulina | Nova Europa | Taiacu |
| Boa Esperança do Sul | Guarantã | Nova Granada | Taiuva |
| Borborema | Holambra | Novaes | Taquaral |
| Botucatu | Ibitinga | Olímpia | Taquaritinga |
| Brotas | Itaju | Onda Verde | Tatuí |
| Buri | Itápolis | Orindiuva | Ubarana |
| Cafelândia | Itirapina | Piracicaba | Vista Alegre do Alto |
| Cajobi | Jaboticabal | Piraju | |
| Casa Branca | Jaguariúna | Pirangi | |

Figura 4

Mapa dos locais que receberam liberações de *Ageniaspis citricola* entre 1998 e 2001 (Parra, 2021).

01 - CONTROLE BIOLÓGICO NA CULTURA DOS CITROS

Este programa de liberação é considerado um dos exemplos de CBA Clássico mais bem-sucedidos do Brasil e do mundo (Parra, 2021). O parasitoide começou a ser recuperado cerca de dois meses após sua liberação indicando que havia se estabelecido nas áreas (Chagas et al., 2002).

As taxas de infestação pelo minador começam a se reduzir logo após o início das liberações variando

de 80-90% dos pomares infestados em 1998 até cerca de 10% de infestação ao final de 2001 (Parra et al., 2022) (Figura 5). A partir de 2004 com advento do HLB, ocorre um grande aumento nas aplicações de inseticidas o que gerou uma preocupação se *A. citricola* poderia ser prejudicado, por outro lado o parasitoide se mostrou adaptado mantendo altas taxas de parasitismo mesmo em pomares com altas taxas de aplicação de inseticidas sintéticos (Paiva e Yamamoto, 2015).

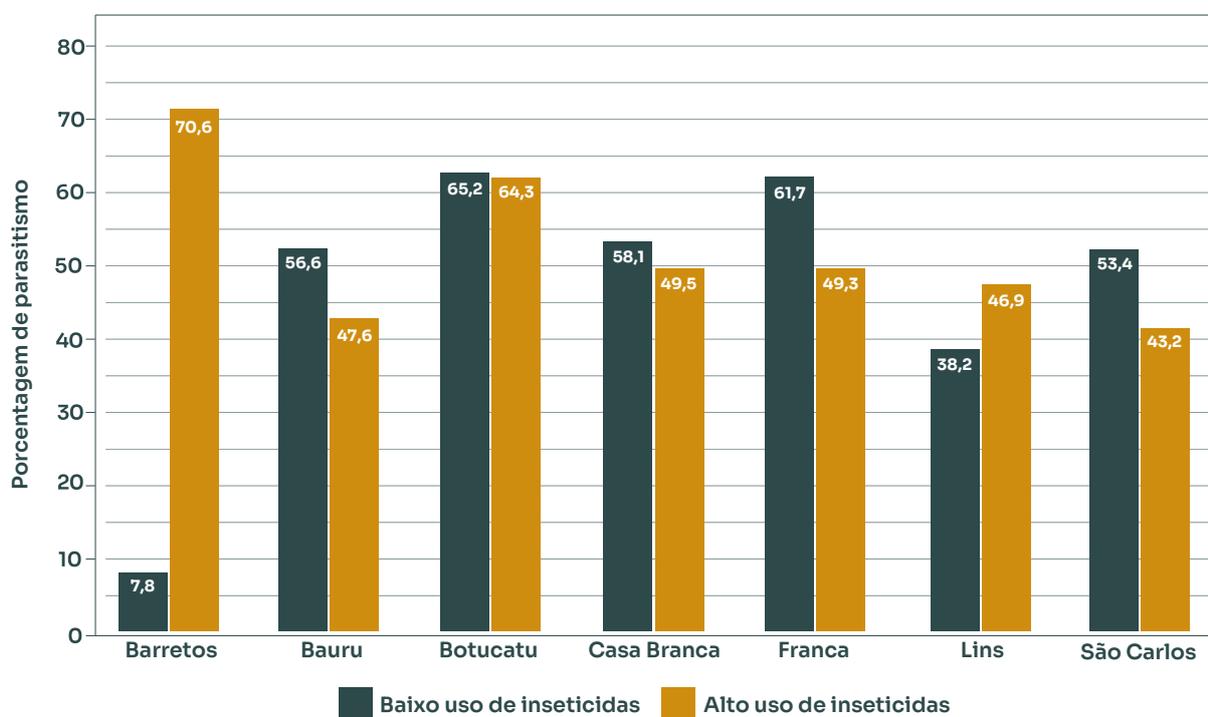


Figura 5

Taxas de parasitismo por *Agenesia citricola* sobre *Phyllocnistis citrella*, em diferentes regiões, com diferentes níveis de aplicação de inseticidas sintéticos (Paiva e Yamamoto, 2015).

Tamarixia radiata: um parasitoide no combate ao Huanglongbing

Indiscutivelmente o *Huanglongbing* (HLB) é o maior desafio fitossanitário já enfrentado pelo setor citrícola em nível mundial (Hu et al., 2025). Os primeiros registros da doença são ainda da China no século XVIII e ao longo dos próximos cem anos a doença se espalhou a partir da Ásia, chegando a África nos anos 1940 e à América no começo dos 2000, tendo sido registrada no Brasil em 2004 e EUA em 2005 (Belasque Jr. et al., 2010).

A doença é associada prioritariamente a três bactérias; *Candidatus Liberibacter asiaticus* (CLas), *Candidatus Liberibacter americanus* (CLam), e *Candidatus Liberibacter africanus* (CLaf), cuja ação principal é a colonização dos vasos do floema, com produção de biofilme, levando a um comprometimento da circulação de seiva (Wang, 2019). A doença resulta em menor produtividade, frutos menores e redução do teor de açúcar. Plantas novas infectadas normalmente morrem antes de entrar em produção e plantas adultas sobrevivem em média cinco anos após a infecção (Miranda et al., 2022).

Uma vez que não existem medidas curativas para doença, seu manejo é focado na prevenção da infecção por meio do controle do seu principal vetor, o psílídeo *Diaphorina citri* Kuwayama, 1908 (Hemiptera: Psyllidae) (Diniz et al., 2022). A praga apresenta um ciclo de desenvolvimento relativamente curto, de cerca de 18 dias a 25°C (Nava et al., 2007), um período de aquisição da bactéria de cerca de meia hora e de transmissão de cerca de uma hora (Canale et al., 2017), sendo que quando a aquisição ocorre na fase de ninfa, a concentração da bactéria, bem como a infectividade aumenta ao longo da fase adulta (Inoue et al., 2009).

A partir da detecção da doença no Brasil em 2005 (Teixeira et al., 2005) diversos projetos em várias frentes foram iniciados. Um destes projetos foi fo-

cado em inimigos naturais com potencial de controle da praga. Inicialmente, em função de bons resultados em outros países, pensou-se na importação de *Tamarixia radiata* (Waterston, 1922) (Hymenoptera : Eulophidae), principal parasitoide da praga, o processo de importação foi iniciado, porém ela foi detectada no país em 2005 (Gomez-Torres, 2009). Iniciou-se então um projeto para viabilizar seu uso ao longo dos próximos anos (Parra et al., 2016).

Foram realizados estudos básicos de biologia da praga e do parasitoide (Nava et al., 2007; Gomez-Torres, 2009), seguidos de estudos de sua criação em pequena e depois em larga escala (Diniz et al., 2021). Foram realizados testes em semicampo e campo (Parra et al., 2016) que comprovaram a capacidade do parasitoide como agente de controle de *D. citri*.

A partir de 2012, com apoio do Fundecitrus, iniciou-se uma criação em larga escala no Departamento de Entomologia e Acarologia da USP/ESALQ, a qual chegou a produzir 20.000 parasitoides por semana que eram enviados para diferentes regiões do estado de São Paulo.

Em função dos resultados obtidos de redução de populações de ninfas, foi iniciada uma criação também no próprio Fundecitrus e diferentes criações foram instaladas em fazendas do grupo Citrosuco, sendo deste modo a produção transferida para os produtores de citros.

Foi determinado que o problema principal da disseminação do HLB é decorrente de transmissão horizontal, ou seja, aquela que vem de fora do pomar, principalmente de áreas vizinhas, abandonadas e sem controle da praga e de áreas com hospedeiros alternativos. Tal fato levou a uma forma inédita de

01 - CONTROLE BIOLÓGICO NA CULTURA DOS CITROS

uso de inimigos naturais, o manejo externo, no qual o parasitoide era liberado não no pomar onde se desejava a ação de controle da praga, mas nas áreas adjacentes, com objetivo de reduzir a população de ninfas infectivas e conseqüentemente a população de adultos que poderiam migrar dali para as áreas produtivas (Diniz et al., 2020).

O manejo do HLB é de alta complexidade de modo que todas as estratégias possíveis devem ser levadas em conta. Sabe-se, já desde o começo, que a efetividade na desaceleração da doença deve ser feita por meio do tripé eliminação de plantas infectadas, plantio de mudas saudáveis e controle do vetor (Belasque Jr. et al., 2005). Isso fica ainda mais claro quando, por meio de simulação pode-se observar a evolução da doença em função de diferentes cenários de manejo (Figura 6).

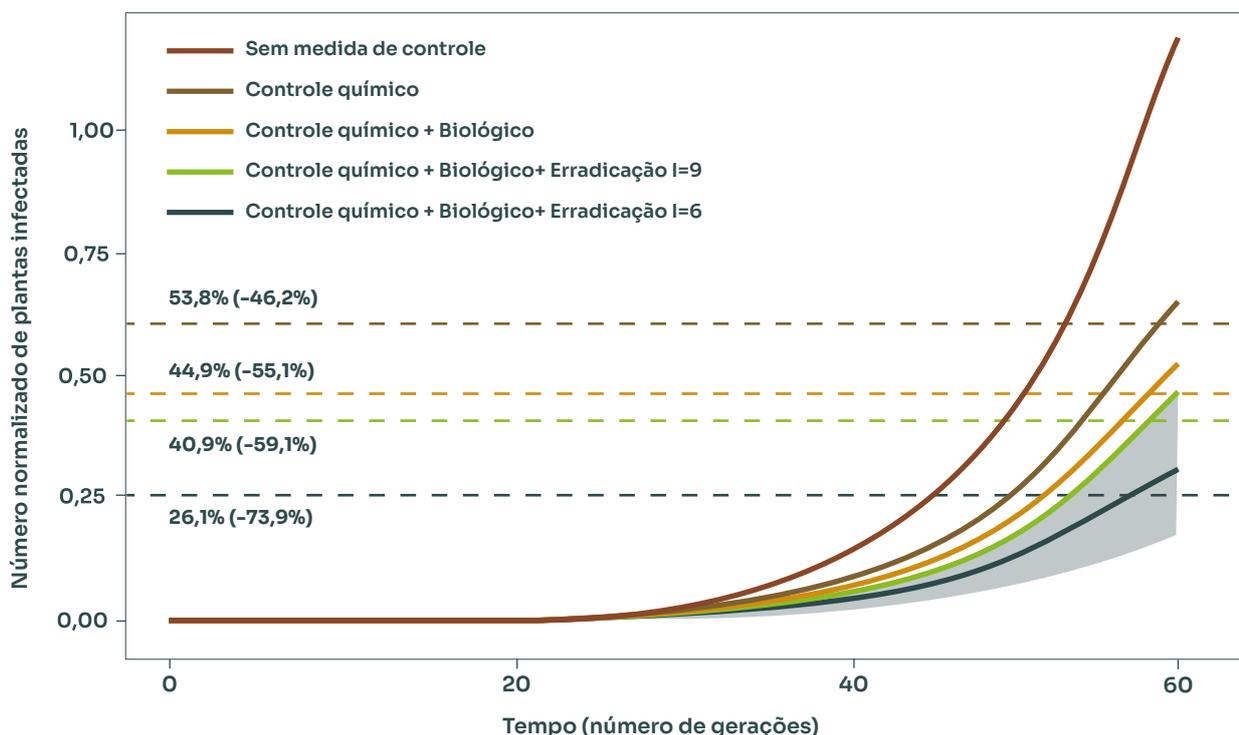


Figura 6

Efeito na redução de plantas infectadas decorrente de cinco diferentes cenários de manejo de *Diaphorina citri*. Números entre parêntese indicam a redução de infecção em comparação com cenário de não manejo. Adaptado de Garcia et al. (2022).

Neste caso, fica clara importância do manejo integrado da doença, adotando-se o maior número de medidas possíveis. Em um cenário de uso de apenas controle químico do psilídeo obtém-se uma redução de 46,2% de plantas infectadas. Por outro lado, integrando-se o controle químico, biológico e a erradicação precoce (até cinco semanas após a detecção da doença na planta) essa redução pode alcançar mais de 70% (73,9) (Garcia et al., 2022).

O manejo atual do HLB dispõe de uma série de estratégias, muitas delas com uso de bioinsumos, como fungos entomopatogênicos para psilídeos, indutores de resistência para as plantas e até substâncias não antibióticas, mas que podem inibir o desenvolvimento da bactéria na planta.

Considerações finais

A cadeia citrícola no Brasil é considerada uma das mais tecnificadas da agricultura nacional, tendo sido capaz de superar grandes crises ao longo da sua história, como a tristeza dos citros nos anos 1930, o cancro cítrico a partir dos anos 1960, CVC nos anos 1980-90, Minador e há mais de 20 anos vem enfrentando seu maior desafio, o HLB.

A capacidade de suportar tais adversidades e ainda assim se manter como maior exportador mundial de suco de laranja mostra a resiliência do citricultor brasileiro. Essa, porém, só foi possível por um suporte fornecido pela pesquisa científica de alto nível que se iniciou com o Centro de Citricultura ainda no começo século XX, e segue ao longo dos últimos 100 anos com instituições que fizeram parte apoiando o desenvolvimento de soluções como o Fundo de Defesa da Citricultura (Fundecitrus) e as principais instituições de ensino superior como a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (USP/Esalq) e a Universidade Estadual Paulista (UNESP).

Essa combinação de citricultores apoiados por ciência de qualidade irá vencer os desafios atuais e manter a sustentabilidade da citricultura brasileira.

Referências

Alison E (2024) **Registro de produtos para controle biológico de pragas ultrapassa o de agroquímicos**. FAPESP, 2024. Disponível em: <https://fapesp.br/cpe/registro_de_produtos_para_controle_biológico_de_pragas_ultrapassa_o_de_agroquímicos/144>. Acesso em 10 de fevereiro de 2025.

Autuori M (1938) Notas sobre a introdução e multiplicação do parasita *Tetrastichus giffardianus* no Brasil. **O Biológico** 4(4):128-129.

Belasque Jr. J, Yamamoto PT, Miranda MP, Bassanezi RB, Ayres AJ, Bové JM (2010) Controle do Huanglongbing no estado de São Paulo. **Citrus Research & Technology** 31(1):53-64.

Bento JMS, Parra JRP, Yamamoto PT, Vilela EF (2004) Feromônio sexual no manejo do bicho-furão-dos-citros. **Visão Agrícola** 1(2):68-71.

Bento JSM, Parra JRP, Miranda SHG, Adami ACO, Vilela E, Leal WS (2017) How much is a pheromone worth? **F100Research** 5:1763-1768.

BRASIL. **Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024**. Dispõe sobre bioinsumos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 23 de dezembro de 2024. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2024/lei-15070-23-dezembro-2024-796798-publicacaooriginal-173902-pl.html>>. Acesso em 10 de fevereiro de 2025.

Bueno RCOF, Yamamoto PT, Carvalho MM, Bueno NM (2014) Occurrence of *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) on citrus in the state of Sao Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura** 36(2):520-523.

Canale MC, Tomaseto AF, Haddad ML, Coleta-Filho HD, Lopes JRS (2017) Latency and persistence of 'Candidatus Liberibacter asiaticus' in its psyllid vector, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). **Phytopathology** 107(3):264-272.

Cantori LV, Iost Filho FH, Pazini JDB, Diniz AJF, Yamamoto PT, Parra JRP (2023) Is Integrated Management of *Gymnandrosoma aurantianum* possible with *Trichogramma atopovirilia* and novel products used in citrus orchards in Brazil? **Insects** 14:1-12.

Chagas MCM, Parra JRP, Milano P, Nascimento AM, Parra ALGC, Yamamoto PT (2002) *Ageniaspis citricola*: Criação e estabelecimento no Brasil. In: Parra JRP, Botelho PSM, Correa-Ferreira BS, Bento JMS (Eds.) **Controle Biológico no Brasil: Parasitoides e Predadores**. São Paulo: Manole. p.377-394.

Costa VA, Araújo EL, Guimarães JA, Nascimento AS, Lasalle J (2005) Redescoberta de *Tetrastichus giffardianus* (Hymenoptera: Eulophidae) após 60 anos da sua introdução no Brasil. **Arquivos do Instituto Biológico** 72(4):539-541.

Diniz AJF, Alves GR, Vieira JM, Parra JRP (2021) Manejo do psílideo dos citros com uso do parasitoide *Tamarixia radiata*: uma nova abordagem em controle biológico. In: Parra JRP, Pinto AS, Nava DE, Oliveira RC; Diniz AJF (Orgs.) **Controle Biológico com Parasitoides e Predadores na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: FEALQ. p.127-158.

Diniz AJF, Garcia AG, Alves GR, Reigada C, Vieira JM, Parra JRP (2020) The enemy is outside: releasing the parasitoid *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) in external sources of HLB inocula to control the asian citrus psyllid *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). **Neotropical Entomology** 49:250-257.

EMBRAPA. **Bioinsumos**: Tendência de crescimento no Brasil. Embrapa, 2024. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/85620702/bioinsumos-tendencia-de-crescimento-no-brasil>> Acesso em 10 de fevereiro de 2025.

Fonseca JP (1938) O combate biológico às moscas das frutas. **O Biológico** 4(7):221-225.

Gallo D, Nakano O, Silveira Neto S, Carvalho RPL, Baptista GC, Berti Filho E, Parra JRP, Zucchi RA, Alves SB, Vendramim JD, Marchini LC, Lopes JRS, Omoto C (2002) **Entomologia Agrícola**. Piracicaba: Fealq. 920 p.

Garcia AG, Jamielniak JA, Diniz AJF, Parra JRP (2022) The importance of integrated pest management to flatten the huanglongbing (HLB) curve and limit its vector, the Asian citrus psyllid. **Entomologia Generalis** 42(3):11-15.

Giacometti DC (1962) Áreas citrícolas brasileiras e a ocorrência de *Orthezia* sp. In: Ministério da Agricultura (Ed.), **Boletim do Instituto de Ecologia e Experimentação Agrícolas** - Primeiro Simpósio Brasileiro Sobre Controle Biológico. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura. p. 61-65.

Gomez-Torres ML (2009) **Estudos bioecológicos de *Tamarixia radiata* (Waterston, 1922) (Hymenoptera: Eulophidae) para o controle de *Diaphorina citri* Kuwayama, 1907 (Hemiptera: Psyllidae)**. 138p. Tese (Doutorado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

Hu Y, Lu N, Bao K, Liu S, Li R, Huang G (2025) Swords and shields: the war between *Candidatus Liberibacter asiaticus* and citrus. **Frontiers in Plant Science** 15:1518880.

IHS Markit (2021) **Riscos e impactos da produção on farm de bio defensivos**.

Inoue H, Ihonishi J, Ito T, Tomimura K, Myata S, Iwanami T, Ashihara W (2009) Enhanced proliferation and efficient transmission of *Candidatus Liberibacter asiaticus* by adult *Diaphorina citri* after acquisition feeding in the nymphal stage. **Annals of Applied Biology** 155:29-36.

Liu SS, Rao A, Vinson B (2014) Biological Control in China: Past, present and future – An introduction to this special issue. **Biological Control** 68:1-5.

MAPA (2024) **Líder global na utilização de bioinsumos, Brasil apresenta panorama regulatório de registros biológicos na ABIM**. Mapa, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/lider-global-na-utilizacao-de-bioinsumos-brasil-apresenta-panorama-regulatorio-de-registros-biologicos-na-abim>. Acesso em 10 de fevereiro de 2025.

Martinez SS (2011) **O nim, *Azadirachta indica***: natureza, usos múltiplos, produção. 2ed. Londrina: Iapar. 205p.

McCook HC (1882) Ants as beneficial insecticides. **Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia** 34(3):263-271.

01 - CONTROLE BIOLÓGICO NA CULTURA DOS CITROS

Miranda MP, Volpe HXL, Yamamoto PT, Andrade DJ (2022) Pragas dos Citros. In: Romero J (Ed.) **Manual de Entomologia**. Ouro Fino: Ceres. p. 217-234.

Nava DE, Torres MLG, Rodrigues MDL, Bento JMS, Parra JRP (2007) Biology of *Diaphorina citri* (Hem., Psyllidae) on different hosts and at different temperatures. **Journal of Applied Entomology** 131:9-10.

Paiva PEB, Yamamoto PT (2014) Lagartas em citros, com ênfase em *Helicoverpa armigera*: uma breve revisão. **Citrus Research and Technology** 35(1):11-17.

Paiva PEB, Yamamoto PT (2015) Natural parasitism of the citrus leafminer (Lepidoptera: Gracillariidae) over eight years in seven citrus regions of São Paulo, Brazil. **Florida Entomologist** 98(2):660-664.

Parra JRP, Alves GR, Diniz AJF, Vieira JM (2016) *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) x *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae): Mass rearing and potential use of the parasitoid in Brazil. **Journal of Integrated Pest Management** 7(1):5.

Parra JRP, Botelho PSM, Correa-Ferreira BS, Bento JMS (2002) Controle Biológico: Terminologia. In: Parra JRP, Botelho PSM, Correa-Ferreira BS, Bento JMS (Eds.) **Controle Biológico no Brasil: Parasitoides e Predadores**. São Paulo: Manole. p. 1-16.

Parra JRP, Garcia AG, Diniz AJF, Bento JMS (2022) Sustainability in Brazilian Citriculture: Three decades of successful Biological Control of insect pests. **Frontiers in Agronomy** 5:1-10.

Parra JRP, Pinto AS, Nava DE, Oliveira RC, Diniz AJF (2021) Conceitos e evolução do controle biológico. In: Parra JRP, Pinto AS, Nava DE, Oliveira RC, Diniz AJF (Orgs.) **Controle Biológico com Parasitoides e Predadores na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: FEALQ. p. 17-38.

Parra JRP (2021) Elaboração de programas de controle biológico: Uma visão inter e multidisciplinar. In: Parra JRP, Pinto AS, Nava DE, Oliveira RC, Diniz AJF (Orgs.) **Controle Biológico com Parasitoides e Predadores na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: FEALQ. p. 39-54.

Peng SJ (1983) Biological control - one of the fine traditions of ancient Chinese agricultural techniques. **Scientia Agricultura Sinica** 1:92-96.

Peracchi L (1962) Organização de um centro nacional de pesquisas sobre controle biológico e importação de inimigos naturais, no Instituto de Ecologia e Experimentação Agrícolas. In: Ministério da Agricultura (Ed.) **Boletim do Instituto de Ecologia e Experimentação Agrícolas - Primeiro Simpósio Brasileiro Sobre Controle Biológico**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura. p. 105-107.

Teixeira DC, Ayres AJ, Kitajima EW, Tanaka FAO, Danet JL, Jagoueix-Eveillard S, Saillard C, Bové JM (2005) First report of a huanglongbing-like disease of citrus in Sao Paulo State, Brazil, and association of a new liberibacter species, *Candidatus Liberibacter americanus*, with the disease. **Plant Disease** 89:107.

van den Bosch R, Messenger PS, Gutierrez AP (1982) **An Introduction to Biological Control**. Boston: Springer. 247p.

Walder JMM (2002) Produção de moscas-das-frutas e seus inimigos naturais: Associação de moscas estéreis e Controle Biológico. In: Parra JRP, Botelho PSM, Correa-Ferreira BS, Bento JMS (Eds.) **Controle Biológico no Brasil: Parasitoides e Predadores**. São Paulo: Manole. p.181-191.

Wang N (2019) The citrus huanglongbing crisis and potential solutions. **Molecular Plant** 12(5):607-609.

Yamamoto PT (2006) Controle Biológico de Pragas dos Citros. In: Pinto AS, Nava DE, Rossi MM, Malerbo-Souza DT (Eds.) **Controle Biológico na Prática**. Piracicaba: CP2. p. 105-112.

02

Controle Biológico de doenças na citricultura

Antonio de Goes¹

Tais Ferreira de Almeida²

📍 ¹Planta Viva Consultoria, Jaboticabal, São Paulo

✉️ antonio.goes@unesp.br

📍 ²Universidade Estadual de Goiás, Coordenadora da
Plataforma Institucional de Pesquisa e Inovação em
Bioinsumos, Palmeiras de Goiás-GO

✉️ tais.almeida@ueg.br

A citricultura representa uma das principais atividades econômicas do Brasil, desempenhando importante papel no contexto econômico e alimentício. O país é líder absoluto na exportação de suco de laranja, atendendo grande parte da demanda mundial. A maioria da produção do suco é processada no estado de São Paulo, especialmente pela proximidade da matéria prima. Cerca de 79% do suco de laranja comercializado no mundo provém do Brasil.

Não obstante a pujança do setor, os cítricos contam com grandes desafios no ponto de vista fitossanitário, sendo afetados por diversas pragas e doenças. Algumas doenças, dependendo do tipo de interação e das condições de ambiente prevalentes, podem tornar limitante a produção, seja pela inexistência de resistência das variedades, seja pelo elevado custo de controle, ou à reduzida eficiência dos métodos usuais disponíveis. Algumas doenças, devido ao seu caráter quarentenário, podem inviabilizar a comercialização dos frutos, tanto para o mercado interno, como às exportações.

As doenças que ocorrem frequentemente no Brasil são oriundas de infecções causadas por oomicetos, fungos, bactérias, vírus e viroides. A melhor estratégia para o manejo dessas doenças se baseia no uso de variedades resistentes. Entretanto, nem sempre se conta com variedades que apresentem tais diferenciais, sendo necessária, pois, a adoção de outras alternativas, incluindo o emprego de mudas sadias, práticas de evasão e aplicação de boas práticas agrônômicas.

No grupo de patógenos capazes de causar doenças em plantas cítricas incluem-se os integrantes do filo Oomycota, representados por duas espécies de *Phytophthora*, *Phytophthora nicotianae* Breda de Haan (syn. *P. parasitica* Dastur), uma espécie polífaga, afetando mais de 400 hospedeiros e *Phytophthora citrophthora* (R.E. Sm. & E.H.

Sm) Leonian (Graham e Feichtenberger, 2015). *P. nicotianae* é a espécie mais comum nas regiões tropicais do mundo, e infectam e causam morte de raízes e radículas, mas normalmente não infectam as partes aéreas das plantas. *P. citrophthora* causa sintomas de gomose, infectam raízes e radículas, e é capaz de infectar folhas e frutos. Um agravante adicional é que, plantas com sintomas de *Greening* ou Huanglongbing (HLB), causado por *Candidatus Liberibacter* spp., tornam-se mais predispostas às infecções por esse grupo de patógenos (Johnson, 2019).

Os sintomas mais comuns oriundos das infecções de *Phytophthora* são a podridão de raízes e radículas, em mudas em viveiros ou recém-plantadas, e nas fases subsequentes do seu desenvolvimento, incluindo quando adultas e bem estabelecidas. Raízes e radículas, quando infectadas, mostram-se escurecidas e em número reduzido. Subsequentemente, as lesões podem avançar e alcançar o colo e o tronco das plantas.

No tronco, os sintomas se caracterizam pela presença de lesões que se estendem do nível do solo até próximo a região da enxertia. Tais lesões se restringem à casca e à camada superficial do câmbio, sem atingi-lo profundamente. A partir da base do tronco, as lesões podem desenvolver longitudinalmente e atingir vários centímetros de altura. Com o tempo, tais lesões podem circundar a periferia do tronco e causar a morte da planta. Na fase que antecede o colapso, é comum a planta florescer de forma intensa, e frutificar abundantemente.

No mundo, são descritas 11 espécies de *Phytophthora* associadas à podridão de raízes e à gomose do tronco e coroa das plantas cítricas. Na América do Sul, encontram-se relatadas sete espécies, sendo que, no Brasil encontram-se registradas apenas *P. nicotianae* e *P. citrophthora*, coincidentemente as mais destrutivas (Vernière et al.,

02 - CONTROLE BIOLÓGICO DE DOENÇAS NA CITRICULTURA

2004). Esses patógenos são habitantes naturais do solo, e encontram-se presentes em todas as regiões produtoras de citros do mundo. Porém, são mais frequentes nas regiões tropicais e subtropicais, especialmente em solos mal drenados ou enxarcados.

Sob condições naturais de infecção, o incremento da gomose nos pomares se dá por meio de estruturas produzidas pelo patógeno, como o micélio, esporângios, zoósporos, clamidósporos e oósporos. Os clamidósporos são originados da diferenciação da hifa, sendo produzidos indistintamente por *P. nicotianae* e *P. citrophthora*. Os oósporos são produzidos mais frequentemente por *P. parasitica*. Essas estruturas se originam da fusão de gametângios femininos, os oogônios, e os masculinos, o anterídio.

A sobrevivência e renovação da população de *Phytophthora* se dão por meio de clamidósporos produzidos em raízes doentes ou em decomposição e em raízes recentemente emitidas e infectadas. A disseminação de *Phytophthora* spp. nas novas áreas de cultivo se dá por meio de sementes e mudas infectadas, ou por água de irrigação contaminada. A disseminação intraplanta se dá por meio de partículas de solos contaminados e por meio de água de enxurrada. Em folhas e em frutos, a disseminação dos propágulos do patógeno se dá por respingos de água. No caso de limões verdadeiros, formigas são também disseminadoras do patógeno, levando propágulos das partes baixas até às superiores. Para algumas espécies de *Phytophthora*, que não se aplica às que ocorrem no Brasil, a disseminação horizontal dos esporângios se dá pelo vento.

Uma parte do ciclo da doença se inicia a partir de clamidósporos, que germinam quando sob condições de umidade favorável e formam micélio e esporângios. A partir dos esporângios têm-se os zoósporos. A penetração do patógeno se dá

em fermentos resultantes da elongação de raízes, ou oriundos de práticas culturais e injúrias por produtos químicos. Insetos subterrâneos, como coleópteros do gênero *Naupactus* Dejean, 1821, *Parapantomorus fluctuosus* (Boheman, 1840) (Coleoptera: Curculionidae), cochonilhas e cupins podem aumentar a predisposição e infecção.

Nas fases iniciais de desenvolvimento da doença, os sintomas externos ocorrem de forma lenta, porém, tornam-se progressivos no transcorrer do tempo. Todavia, quando as infecções atingem o colo ou o tronco da planta, os sintomas se desenvolvem mais rapidamente, tornando-se muito evidentes, cujas plantas exibem amarelecimento intenso, baixo vigor e perda progressiva de folhagem. Infecções no tronco, a depender do nível e abrangência, podem resultar em morte da planta. Comumente, em áreas de más condições de drenagem, ou com solo compactado e de baixa oxigenação, a expressão dos sintomas dá-se de forma mais rápida e severa.

A incidência de oomicetos em folhas e em frutos é comparativamente menos frequente que as infecções de raízes e radículas, porém, quando presente pode causar muitos prejuízos à planta e na produção. Normalmente a doença é mais evidenciada em variedades de maturação precoce. Tais infecções se manifestam com mais frequência no período do outono ou no inverno, em anos muito chuvosos. Normalmente esse grupo de doença ocorre quando de antecedentes da doença na área, acompanhado por chuvas torrenciais por vários dias seguidamente.

Em frutos cítricos, em pré-colheita, os frutos doentes apresentam mancha marrom, de bordas bem delineadas entre áreas doentes e sadias. Frutos infectados caem facilmente e são inapropriados para o comércio.

O controle de *Phytophthora*, em citros, se baseia na adoção de várias medidas em conjunto, com destaque para o uso de mudas sadias, emprego de porta-enxertos resistentes ou menos suscetíveis, acompanhado por escolhas de áreas com solos profundos, de boas condições de drenagem e sem antecedentes da doença. No plantio das mudas, deve-se evitar o seu enterrio profundo, assim como ferimentos. Quando da ineficácia de tais alternativas, o uso de fungicidas químicos e agentes de controle biológico se constituem em medidas adicionais necessárias.

Dentre os fungicidas químicos adotados no manejo de *Phytophthora* se destacam os sistêmicos, a base de fenilamidas (metalaxyl, mefenoxan,) e os fosfonatos (fosetyl-Al, fosfito de potássio). Em plantas tratadas, tais fungicidas têm demonstrado contribuir para aumentar a produção de raízes nutritivas e reduzir o número de propágulos do patógeno (Hao et al., 2019). Normalmente, tais fungicidas proporcionam melhores respostas quando aplicados via foliar, ou aplicados diretamente no tronco e nas pernas das plantas.

O uso de fungicidas no controle de *Phytophthora* deve ser visto com parcimônia, devido aos custos elevados e aos riscos de resistência. Registros de resistência às fenilamidas são conhecidos há várias décadas, em diversas populações de *Phytophthora*, como *P. nicotianae*, *Phytophthora citricola* Sawada, *Phytophthora cryptogea* Pethybr. & Laff., *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary e *Phytophthora megasperma* Drechsler. Na Flórida, levantamentos realizados em viveiros de mudas cítricas indicaram que, na metade dos viveiros continham populações de *Phytophthora palmivora* (E.J.Butler) E.J.Butler resistentes às fenilamidas (Timmer et al., 1998). Para o caso dos fosfonatos, os relatos de resistência são menos frequentes, embora a perda de sensibilidade tenha sido detectada em *Phytophthora capsici* Leonian, *Phytophthora cinnamomi* Rands e *P. infestans* (Veena et al., 2010). Na Califórnia, estudos

conduzidos por Hao et al. (2019), indicaram que 10-20% dos isolados de *Phytophthora syringae* (Kleb.) Kleb. e *P. citrophthora*, oriundos dos pomares cítricos, mostravam-se pouco sensíveis a fosfito de potássio. Segundo esses autores, tais isolados, quando inoculados em frutos e tratados com doses comerciais com fosfito de potássio, as respostas de controle foram comparativamente mais baixas que as observadas em populações sensíveis do patógeno (Adaskaveg et al., 2017; Hao et al., 2021).

Os agentes de controle biológico (ACBs) se constituem em uma excelente estratégia para o manejo de doenças de plantas. Trata-se de alternativa ecologicamente adequada, pouco dispendiosa, sustentável e pode complementar o controle químico. Por exemplo, muitas espécies de leveduras e bactérias têm sido avaliadas e usadas de forma efetiva no controle de doenças em frutos, em pós-colheita (Janisiewicz e Korsten, 2002). Tal alternativa tem-se destacado e sido bem aceita na indústria citrícola, com destaque para as bactérias *Paenibacillus brasilensis* von der Weid et al., 2002, *Burkholderia gladioli* Severini, 1913 pv. *agaricola*, espécies do gênero *Streptomyces* Waksman & Henrici, 1943 e *Bacillus subtilis* (Ehrenberg, 1835) Cohn, 1872 (Mohammadi et al., 2016; Toslu et al., 2019).

Os mecanismos de ação exercidos pelos ACBs, no controle biológico de fitopatógenos, decorrem do efeito de substâncias antimicrobianas ou enzimas líticas, lipopeptídeos cíclicos (iturina A, fengicina, surfactina), compostos orgânicos voláteis, e à competição por nutrientes e espaços, parasitismo e resistência sistêmica induzida. De forma indireta, outros mecanismos adotados pelos ACBs são quanto à sua capacidade de solubilização de fosfatos, produção de sideróforos, aquisição de ferro, osmoproteção e tolerância a estresse osmótico e produção de fitormônios (Riera et al., 2017).

02 - CONTROLE BIOLÓGICO DE DOENÇAS NA CITRICULTURA

Na citricultura, especialmente no caso do controle de oomicetos, embora os agentes de controle biológico demonstrem grande atividade antimicrobiana, quando sob níveis elevados de inóculo e com sintomas da doença avançados, eles não substituem os fungicidas sintéticos. No entanto, sob condições práticas tem-se constatado que, quando da sua introdução juntamente com as etapas de preparo das mudas e plantio, seus benefícios são potencializados (Naqvi, 2004; Talibi et al., 2014). Obviamente, medidas adicionais de controle como métodos físicos, químicos e biológicos não devem ser dispensados.

Uma grande dificuldade para o efetivo sucesso dos ACBs no controle de *Phytophthora* em pomares cítricos, ou mesmo em outros patossistemas, advém normalmente da dificuldade de adaptação dos agentes microbianos, especialmente em condições ambientais pouco favoráveis, ou por conta de um desbalanço entre a abundância de inóculo do agente patogênico alvo e o tamanho da população dos ACBs. Outros fatores que certamente afetam a eficiência dos ACBs são as condições nem sempre adequadas de sua formulação e armazenamento e limitada capacidade competitiva sob estresse ambiental. Na prática, para superação de tais dificuldades, recorre-se às suas aplicações recorrentes, às vezes em curtos intervalos de tempo, implicando em aumento de custos e dificuldades operacionais.

Dentre os ACBs que têm demonstrado potencial de controle de oomicetos incluem-se os fungos *Chaetomium globosum* Kunze, *Chaetomium cupreum* L.M.Ames, *Chaetomium lucknowense* J.N.Rai & J.P.Tewari (Hung et al., 2015), *Trichoderma harzianum* Rifai, *Trichoderma virens* (J.H. Mill., Giddens & A.A.Foster) Arx, *Trichoderma hamatum* (Bonord.) Bainier, *Trichoderma lignorum* (Tode) Harz, *Trichoderma asperelum* Samuels, Lieckf. & Nirenberg, *Gliocladium virens* J.H.Mill., Giddens & A.A.Foster (Weideman e Wehner, 1993; Jagtap et al., 2012; Gurung et al., 2020; Sousa e

Granada, 2023) e diversas espécies de bactérias, especialmente *Pseudomonas fluorescens* Migula, 1895 (Gade, 2012), *Pseudomonas putida* (Trevi- san, 1889) Migula, 1895 (Amorim e Melo, 2002), *Bacillus pumilus* Meyer & Gottheil, 1901 (Tran et al., 2024) e *B. subtilis* (Shinde e Sadgir, 2016). Também se tem avaliado o emprego de isolados hipovirulentos do patógeno alvo (Colburn e Graham, 2007), formulações de nanopartículas de óxido de cobre biogênico, sintetizadas a partir de ACBs, como *P. fluorescens* e *Trichoderma viride* Pers., (Sawake et al., 2022) e exploração da epigenética (Silva et al., 2021). Outras linhas de pesquisas visando ao manejo de diversas doenças de plantas, inclusive as oriundas do complexo *Phytophthora*, se baseiam no uso de microrganismos endofíticos, naturalmente presentes em plantas cítricas, ou em plantas medicinais. Uma grande vantagem desse grupo de microrganismos se pauta na sua capacidade para o carreamento de nutrientes do solo para dentro das plantas, modulação do seu desenvolvimento, aumento da tolerância ao estresse, supressão da virulência dos patógenos, aumento da resistência das plantas e supressão do desenvolvimento de espécies competidoras (White et al., 2019).

O manejo de oomicetos envolve a adoção de diversas estratégias, incluindo o emprego de ACBs. Para tal, encontram-se disponíveis formulações comerciais a base de *Trichoderma harzianum* ou *T. viride* com aplicação na cova de plantio, misturado com o substrato ou aplicado em cobertura, mediante incorporação, repetida em intervalos de 90-120 dias, em solo úmido; *B. subtilis* ou *P. fluorescens*, aplicadas via irrigação, ou na forma de pulverização foliar ou em *drench*. Para ambas as situações os tratamentos devem ser reforçados com aplicações foliares de fosfitos de potássio, em três ocasiões, na primavera e verão, uso de matéria orgânica e emprego de ácidos húmicos e fúlvicos.

Além das doenças resultantes do complexo *Phytophthora*, as plantas cítricas são também afetadas por diversas outras doenças, com destaque a Podridão floral dos citros (PFC), Pinta Preta (PP), e o complexo de doenças de pós-colheita.

A PFC é causada pelos fungos *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc. e *Colletotrichum abscissum* Pinho & O.L.Pereira e é capaz de causar redução de produtividade de até 80%. É uma doença comum nas regiões tropicais e subtropicais das Américas e causa infecções em pétalas, estigma e em frutos jovens, na presença de filmes de água por período superior a oito horas.

Os sintomas da PFC se caracterizam pela presença de pétalas com manchas de coloração alaranjada ou pêssego. Quando das infecções dos órgãos florais, ocorre a queda dos frutos jovens, permanecendo apenas os cálices. A presença dos cálices retidos é o sintoma final da doença.

A PFC ocorre em todas as variedades de laranjeiras doces *Citrus sinensis* L., limões e limas ácidas. Em laranjeira doce, a doença é mais frequente e importante em laranjeiras 'Natal' e 'Pera'. Nesta última, especialmente por conta de vários ciclos de florescimento no ano.

No Brasil, os casos mais importantes da PFC são verificados em pomares localizados nas regiões que contam com chuvas mais intensas e/ou frequentes no período de florescimento, condição essa normalmente frequente na região sudoeste do estado de São Paulo. Além disso, nesta região a temperatura é normalmente mais baixa ou mais amena no inverno, condição essa que torna o período de florescimento mais longo, ampliando o período de exposição das flores.

O controle da PFC é feito preventivamente, mediante aplicações de fungicidas sintéticos, aplicados em intervalos de 5 a 7 dias. Tais aplicações devem anteceder aos eventos chuvosos e devem ser repetidas ou antecipadas quando de chuvas superiores a 50 mm, ou quando de vários eventos chuvosos, contínuos ou intermitentes, numa mesma semana.

Os fungicidas preceituados para o controle da PFC são os constituídos por misturas comerciais de fungicidas triazóis e estrobilurinas, ou estrobilurinas e carboxamidas. O número de aplicações é variável e depende da duração do período de florescimento das plantas. É recomendado que o início das aplicações se dê quando no estágio BBCH65 (cabeça-de-alfinete), estendendo-se até o estágio BBCH69, correspondente à queda de pétalas (Agustí et al., 1997).

Dentre os ACBs com respostas promissoras no manejo de PFC incluem-se fungos como *Trichoderma* spp. (Kupper et al., 2009) e bactérias como *B. subtilis* (Kupper et al., 2019). Entretanto, a maioria dos estudos são conduzidos em laboratório, *in vitro*, ou em flores destacadas, ou em casa de vegetação. Na maioria das situações, tais agentes, ainda que promissores, não têm sido convertidos em produtos comercialmente formulados.

Em nossos estudos, em pomares localizados na região sudoeste do estado de São Paulo, no período de julho de 2021 a setembro de 2022, em pomares de laranjeira 'Natal', avaliamos as respostas de tratamentos com ACBs no manejo da PFC. Essencialmente, nesses trabalhos, o propósito foi o de avaliar a viabilidade de ACBs como medida complementar aos fungicidas sintéticos. Em um dos estudos foi avaliado o efeito de duas aplicações de estrobilurina, nas fases iniciais de florescimento, seguido por aplicações sequenciais, porém alternadas com fungicida sintético

02 - CONTROLE BIOLÓGICO DE DOENÇAS NA CITRICULTURA

(estrobilurina e triazol a $0,80 \text{ L ha}^{-1}$) e uma formulação comercial de *Bacillus pumilus*, isolado CNPS03203 (Registro MAPA 04721, a $2,0 \text{ L ha}^{-1}$). Foi constatado que a quantidade final de severidade da doença, expressa em Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), foi 65% inferior à observada no tratamento testemunha. Nesse trabalho, foi ainda constatado que, em termos de produtividade (kg planta^{-1}), na combinação fungicida sintético e ACB essa o foi 14% superior à observada no tratamento testemunha, de 96 e $110 \text{ kg planta}^{-1}$, respectivamente (dados não publicados). Em um outro estudo, conduzido no período de julho de 2023 a outubro de 2024, em Angatuba, em pomar de laranja 'Natal', foi avaliado a eficiência de formulação comercial de *Bacillus velezensis* BV02 (registro MAPA 43418) mediante seis aplicações, realizadas entre 09/08 e 19/09/23. Nesse estudo, o isolado de *B. velezensis* foi avaliado de forma isolada, ou em combinação com fungicidas sintéticos. Os resultados demonstraram que o tratamento constituído por *B. velezensis*, aplicado de forma sequencial ou alternadamente, foi superior à testemunha quanto às relações frutos vingados e número de cálices retidos e quanto a produtividade das plantas. Por exemplo, a produtividade foi 147% e 141% superior à testemunha, respectivamente, para mistura (ACBs + fungicida sintético) e em aplicações sequenciais alternadas (ACB-fungicida sintético-ACB-fungicida sintético). Em ambas as situações foi demonstrado que a combinação de fungicidas sintéticos e *B. velezensis*, a priori, mostraram-se como ferramentas potencialmente eficientes para o manejo da PFC (dados não publicados).

No contexto do manejo prático da PFC, é necessária muita cautela quando da definição das estratégias a serem adotadas no controle da doença. Trata-se de doença potencialmente impactante que, não adequadamente controlada, os prejuízos podem ser muito elevados. Casos de insucessos no manejo dessa doença são muito frequentes e estão normalmente associados a

elevadas concentrações de inóculo nos pomares, demora para o início das aplicações, interrupção precoce das aplicações, intervalos de aplicações inadequados, falhas operacionais quando das aplicações dos fungicidas, intervalos longos entre aplicações e velocidade de operação inapropriada. Pese-se ainda que, quando de condições ambientais muito favoráveis à doença, todos os tratamentos até o momento testados apresentam desempenho limitado.

Outra doença importante causada por fungo é a Pinta Preta (PP), *Phyllosticta citricarpa* (McAlpine) Aa (teleomorfo=*Guignardia citricarpa* Kiely), presente em quase todos os continentes.

O fungo *P. citricarpa* infecta os frutos em qualquer fase de desenvolvimento, porém as infecções são mais importantes na fase de maior crescimento dos frutos, correspondente ao período de primavera-verão. O fungo produz duas fontes de inóculo, produzidas em folhas secas caídas no solo, os ascósporos, e os conídios, produzidos em ramos secos ou nos frutos sintomáticos. Os ascósporos são os responsáveis pela disseminação do patógeno entre plantas, e os conídios, responsáveis pelo incremento da doença nas áreas já contaminadas.

Com exceção da lima ácida 'Tahiti', todas as espécies comerciais de cítricos são suscetíveis ao patógeno. O manejo da doença deve ser constituído pela adoção de um conjunto de ações, envolvendo boas práticas culturais, como bom manejo dos pomares (eliminação de plantas doentes, poda de galhos secos, uso de roçadeira ecológica, controle adequado de pragas para evitar desfolhas, bom balanço nutricional e podas e irrigação) e uso de fungicidas.

A doença ocasiona diferentes tipos de sintomas, a saber: mancha dura, mancha sardenta, mancha virulenta, falsa melanose e mancha trincada. Os dois primeiros sintomas, mancha dura, mancha sardenta, são os mais importantes por propiciar maior queda dos frutos e por conter a presença de picnídios, a partir dos quais são formados os conídios que contribuem para infecções secundárias.

Os fungicidas sintéticos do grupo das estrobilurinas destacam-se como a melhor estratégia para o manejo de PP. Porém, nos últimos anos, foram também registrados fungicidas do grupo dos carboxamidas, cuja eficiência tem-se também sido positivamente destacada. Independentemente do grupo químico, quando do emprego desses fungicidas sintéticos é necessária sua associação com fungicidas multissítios, como os cobres fixos, cujos objetivos são a otimização do controle da doença e a redução dos riscos de resistência do patógenos aos ingredientes ativos utilizados. O número de aplicações dos fungicidas é dependente da variedade, do histórico da doença, nível de inóculo, idade das plantas e destino da produção. Pomares mais velhos, com plantas de maturação tardia, normalmente são necessários maior número de aplicações de fungicidas.

O manejo da doença mediante o emprego de ACBs mostra-se ainda muito incipiente, com os resultados sendo ainda muito preliminares. Entretanto, dadas condições epidemiológicas, os desafios para o controle da doença são enormes. Destacam-se dentre as dificuldades a alta eficiência de infecção por ascósporos e conídios, longo período de suscetibilidade dos frutos, longos períodos com ambientes favoráveis e elevada suscetibilidade da maioria das variedades de importância econômica.

No manejo da PP, além das estrobilurinas e carboxamidas, são utilizadas grandes quantidades de fungicidas cúpricos. Entretanto, seu uso repetido pode ocasionar fitotoxicidade, provocar efeitos ecologicamente indesejáveis (Zhou et al., 2011) e possibilitar o risco de resistência de alguns patógenos, como por exemplo populações da bactéria causadora do cancro cítrico, *Xanthomonas citri* subsp. *citri* (Hasse) (Behlau et al., 2020). Face ao apresentado, uma linha de investigação que tem sido implementada nos últimos anos consiste no uso de ACBs visando, sobretudo, a redução da quantidade de fungicida cúprico nos pomares cítricos, sem obviamente comprometer a eficiência de controle da doença.

Em Olímpia, na região norte do estado de São Paulo, em experimento de avaliação de ACBs no manejo da pinta preta, em laranjeiras 'Valência', procedeu-se avaliação da eficiência de uma formulação comercial constituída por *B. pumilus*, *B. velezensis* e *B. subtilis* (registro - MAPA nº 27321), aplicado de forma isolada ou em combinação com fungicida do grupo das estrobilurinas. Quando de aplicações isoladas, o intervalo entre aplicações foi de dez dias, enquanto em combinação com estrobilurinas, o intervalo foi a cada 28 dias. As aplicações dos fungicidas se deram entre 25/10/22 e 12/05/23. Para aplicação foi utilizado pulverizador estacionário, sendo empregado vazão de 100 mL m⁻³ de copa.

Os resultados demonstraram que a incidência de frutos com sintomas, na área tratada unicamente com ACB, foi de cerca de 50% inferior à observada no tratamento testemunha. Por outro lado, quando da combinação dos ACBs, nas dosagens a 0,80 L ha⁻¹ ou a 1,60 L ha⁻¹, associado a estrobilurina, a incidência de frutos sintomáticos foi 88% e 86%, respectivamente, que a constatada nos frutos do tratamento testemunha. Tais respostas positivas foram inclusive superiores às observadas no tratamento constituído pela aplicação de estrobilurina e oxicloreto de cobre, conjuntamente (dados

02 - CONTROLE BIOLÓGICO DE DOENÇAS NA CITRICULTURA

não publicados). Em linha de pesquisa semelhante, conduzida em pomar de laranja doce 'Valência', na região sudoeste do estado de São Paulo, foi comparado a eficiência dos seguintes tratamentos: I) Aplicação mensal de fungicida do grupo das estrobilurinas, associado a oxicloreto de cobre (tratamento padrão), II) Aplicação mensal, em alternância, de estrobilurina + oxicloreto de cobre e estrobilurina + *B. subtilis* (MAPA sob nº 27321), e III) Aplicação mensal de estrobilurina, porém acrescido por aplicações quinzenais de oxicloreto de cobre. Nos tratamentos I e II foi utilizado vazão de 100 mL m⁻³ de copa, enquanto em III o foi a 75 mL m⁻³ de copa. Foi constatado que a incidência de frutos sintomáticos foi de 5,2%, 2,9% e 4,5%, respectivamente para os tratamentos I, II e III, indicando que o uso alternado de oxicloreto de cobre e *B. subtilis*, em associação com estrobilurina, aplicados em intervalos mensais, foi superior à associação de estrobilurina + oxicloreto de cobre, aplicados sequencialmente, independentemente das formas de combinação e vazão empregada (dados não publicados).

Outra linha de pesquisa visando ao manejo de PP se baseou no emprego de microrganismos endofíticos, oriundos de plantas cítricas ou de outras espécies de plantas. Nessa linha de investigação, na Austrália, Tran et al. (2018) avaliaram o potencial de supressão de *Phyllosticta citricarpa* em frutos de tangerinas (*Citrus reticulata* Blanco), inoculados e tratados com isolados de *Phyllosticta capitalensis* Henn. e *Phyllosticta paracapitalensis* Guarn. & Crous. Segundo os autores, quanto à incidência de frutos sintomáticos não foi constatado diferenças significativas entre frutos tratados e não tratados. Porém, em frutos tratados foi encontrado menor número de lesões que nos do tratamento não tratados. No Brasil, estudo semelhante foi realizado sob condições de casa de vegetação, com aplicação de *P. capitalensis* nas concentrações contendo 104, 106 e 108 conídios mL⁻¹, aplicado 48 h antes e 48 h após a inoculação de *P. citricarpa*, em frutos de laranja 'Pera' (Almeida, 2009). Segundo a autora,

quando do tratamento dos frutos anteriormente à inoculação, a severidade da doença, expresso em Índice de Doença, foi no mínimo 66% inferior à observada no tratamento testemunha. Quando os tratamentos foram realizados posteriormente à inoculação com *P. citricarpa*, os valores de severidade de sintomas foram respectivamente 33%, 78% e 71% inferiores ao observado no tratamento testemunha (Almeida, 2009). Ambos os trabalhos evidenciam, assim, as potencialidades de manejo da doença mediante tais alternativas de empregos de fungos endofíticos.

Em resumo, existe possibilidade da transição do manejo da Pinta Preta, das vias convencionais, com aplicações regulares de fungicidas sintéticos e orgânicos, para um manejo conjunto, contemplando métodos químicos e biológicos. Entretanto, se destaca que não é previsível respostas consistentes e de sucesso imediatamente. É fundamental, todavia, que sejam mantidos os preceitos adequados para um bom manejo agrônomo dos pomares, sendo os ACBs incorporados gradativamente no processo. ACBs, como fungos endofíticos naturais das plantas cítricas, diversas espécies de *Trichoderma* e de *Bacillus* spp., treinamentos e capacitação das equipes de operação, incluem-se dentre as medidas a serem incorporadas no processo.

Dentre as doenças causadas por bactérias, encontram-se a Clorose Variiegada dos Citros (CVC), causada por *Xylella fastidiosa* Wells et al., 1987, o Huanglongbing (HLB, doença previamente conhecida como *greening*), causada por diversas espécies de *Candidatus Liberibacter* e Cancro Cítrico (CC), causada por *X. citri* subsp. *citri* (Gabriel et al., 2020).

No caso da CVC, no estado de São Paulo, graças à mudança da forma de produção de mudas, passando de ambiente aberto para viveiros telados, e à consciência e boas práticas aplicadas por vivei-

ristas e citricultores, essa doença é atualmente considerada de importância secundária. Quanto ao HLB, a doença mais destrutiva dos citros no mundo, o cenário é completamente diferente. Atualmente, na principal região citrícola do Brasil, com 203,74 milhões de laranjeiras, representada pelos estados de São Paulo e Norte e Triângulo Mineiro, em Minas Gerais, há um universo de cerca de 90,36 milhões de plantas contaminadas (FUNDECITRUS, 2024).

O HLB é uma doença de difícil controle por diversas razões. Ela é transmitida por um inseto vetor, capaz de transmitir a doença de forma ampla e muito rapidamente. O patógeno causal não é cultivável em meios de culturas. A doença tem um longo período de incubação, sendo difícil detectar as plantas doentes de forma rápida. Uma vez detectada a planta sintomática, já é tarde, porque não existem medidas efetivas de cura (Wang et al., 2021). As únicas medidas de controle da doença são o uso de mudas sadias, erradicação de plantas doentes e controle do inseto vetor, *Diaphorina citri* Kuwayama, 1908 (Hemiptera: Psyllidae). No entanto, por razões diversas, no principal parque citrícola brasileiro a evolução da doença deu-se de forma rápida e avassaladora.

No Brasil, e em diversas partes do mundo, existem diversas linhas de pesquisas em andamento, sendo testadas diversas ferramentas tecnológicas no controle do HLB (Cao et al., 2024). Nessas pesquisas, tem-se contemplado linhas que abordam aspectos físicos (termoterapia, interrupção das vias de transmissão), métodos químicos (antibióticos, peptídeos antimicrobianos, nanotecnologia, pesticidas, indutores de resistência químicos, hormônios naturais, nutrição da planta) e métodos biológicos (melhoramento genético e híbridos, tecnologia de transgênicos, terapia microbiana) (Li et al., 2020). Entretanto, soluções efetivas são esperadas apenas a médio e longo prazo. Assim, dada a existência de grande número de plantas doentes em diversas regiões

no mundo, tem-se avaliado medidas paliativas para mitigação dos sintomas da doença, que visam, essencialmente, prolongar a vida econômica dos pomares e reduzir a queda dos frutos, um dos maiores agravantes da doença. Nesse sentido, incluem-se a aplicação e/ou manutenção de boas práticas agronômicas, erradicação de plantas doentes (aplicada condicionalmente), controle efetivo do inseto vetor, melhoria do status nutricional das plantas, melhorias da qualidade e quantidade das raízes e redução dos estresses ambientais.

Em relação a terceira doença causada por bactérias, o Cancro Cítrico (CC), essa é mais proeminente em variedades de laranjeiras de maturação precoce, um grupo muito importante para a indústria citrícola brasileira, e em limões e limeiras. De acordo com o Fundecitrus (2021), foi constatado que 17,26% das árvores do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro, em Minas Gerais, mostravam-se infectadas. Tal dado corresponde a 34 milhões de plantas doentes, um índice 15% superior ao registrado em 2019.

As condições ambientais mais favoráveis às infecções e expressão dos sintomas causados por *X. citri* subsp. *citri* são temperaturas entre 25-30°C, acompanhadas por umidade elevada. A bactéria causal infecta folhas, ramos e frutos jovens. Normalmente, as infecções ocorrem mais frequentemente em ferimentos, embora a penetração da bactéria possa também ocorrer em aberturas naturais das folhas. Os frutos mostram-se suscetíveis até o diâmetro de 45 a 50 mm, que corresponde a cerca de 120 dias após a queda das pétalas. A doença causa desfolha e queda de frutos. Por ser doença quarentenária, por medidas legislativas há restrição à comercialização de frutos doentes para o mercado in natura.

02 - CONTROLE BIOLÓGICO DE DOENÇAS NA CITRICULTURA

Nas áreas já impactadas pela doença são recomendadas aplicações preventivas de fungicidas cúpricos, no período crítico de susceptibilidade de folhas e frutos, o que corresponde aos meses de primavera e verão. Entretanto, em pomares novos, é necessária proteção em todas as fases de lançamentos foliares. Os fungicidas cúpricos são recomendados nas concentrações que variam de 32 a 40 mg m⁻³ de copa, repetido em intervalos de 14 a 21 dias.

Na citricultura brasileira, os fungicidas cúpricos ocupam importante papel de destaque, seja no controle de doenças fúngicas e bacterianas, seja como fonte de cobre orgânico, ou como estratégia no manejo de resistência dos patógenos fúngicos. No entanto, por conta dessa prática existe grande preocupação quanto ao acúmulo de cobre nos solos, fitotoxicidade dos frutos, danos fisiológicos nas plantas e possíveis efeitos ambientalmente adversos (Zhou et al., 2025). O uso contínuo de cobre nos pomares pode propiciar a seleção de bactérias fitopatogênicas resistentes, incluindo *X. citri* subsp. *citri* (Marin et al., 2019; Behlau et al., 2020).

Há diversas linhas de pesquisas visando ao manejo de Cancro Cítrico e, sobretudo, à redução da quantidade de cobre adotadas nos pomares cítricos. Dentre tais linhas de pesquisas incluem-se avaliações quanto à eficiência do emprego de nano formulações de óxido de cobre (Kah et al., 2019) ou de óxido de zinco (Graham et al., 2016), emprego de bactérias, como *B. velezensis* (Muhammad et al., 2022) e bactérias endofíticas obtidas de plantas cítricas, como *B. subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens* Priest et al., 1987 e *Bacillus tequilensis* Gatson et al., 2006 (Daungfu et al., 2019) e *Bacillus thuringiensis* Berliner, 1915 (Islam et al., 2019). A tecnologia baseada no emprego de nanopartículas de cobre demonstrou ser uma alternativa muito promissora, propiciando maior retenção de cobre que os cobres fixos convencionais (Kah et al., 2019). No caso de formulações de nano zinco, os resultados de controle da bactéria, *in vitro*, em casa

de vegetação e a campo, foram altamente positivos, cuja eficiência superou à dos fungicidas cúpricos convencionais (Graham et al., 2016). Em relação aos ACBs, Islam et al. (2019) demonstraram que a aplicação de *B. thuringiensis* em folhas de plantas cítricas proporcionou redução da incidência de sintomas em 64,5%, quando comparado aos sintomas de plantas não tratadas. Outra linha de pesquisa desenvolvida visando ao manejo de Cancro Cítrico se refere ao emprego de extratos obtidos de plantas (Hafiz et al., 2016). Porém, tais os resultados, ainda que promissores, são ainda incipientes, em termos de uso prático.

Um grupo adicional de doenças em citros se refere às de pós-colheita, que podem ser categorizadas de acordo com o momento do início e manifestação das infecções, em pré e em pós-colheita, efetivamente. Na fase de pré-colheita, as doenças prevalentes são a Podridão Peduncular, causada por *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griffon & Maubl. (sin.= *Botryodiplodia theobromae* e *Diplodia natalensi*), Antracnose (*C. gloeosporioides*), Mancha Marrom (espécies do gênero *Phytophthora* de Bary, 1876) e Podridão Preta (*Alternaria citri* Ellis & N.Pierce). Na fase de pós-colheita prevalecem o Mofo Verde (*Penicillium digitatum* (Pers.) Sacc.), o Mofo Azul (*Penicillium italicum* Wehmer) e a Podridão Azeda (*Geotrichum citri-aurantii*). Na maioria dessas doenças, as infecções ocorrem a partir de ferimentos na casca dos frutos ou na região peduncular.

Os tipos e intensidade da incidência e severidade de doenças de pós-colheita são dependentes do clima, variedades e práticas culturais adotadas (Ismail e Zhang, 2004). Normalmente, em áreas de produção de citros, em regiões mais úmidas e quentes, a intensidade da doença é mais elevada que nos locais de climas mais frios e secos.

A Podridão Verde, isoladamente, é responsável por cerca de 90% das perdas decorrentes de infecções em pós-colheita (Bazioli et al., 2019). O agente causal, *P. digitatum*, juntamente com *P. italicum*, são nor-

malmente encontrados no solo de pomares cítricos, a partir dos quais podem alcançar os frutos e iniciar as infecções. Essas infecções normalmente são iniciadas em tecidos injuriados, causados por estresse biótico ou abiótico, ou em ferimentos na casca dos frutos, ocorrido na colheita ou quando do manuseio dos frutos, em qualquer etapa entre a colheita e embalagem dos frutos (Palou et al., 2008). Todavia, os frutos são mais suscetíveis nas operações no *packing-house*, e quando do armazenamento, especialmente se com alta concentração de inóculo, ou quando do armazenamento por períodos prolongados.

O maior sucesso no controle de doenças de pós-colheita resulta de boas práticas na colheita, no transporte, do manejo nos locais de beneficiamento das frutas, e quando do transporte e armazenamento dos frutos (Ismail e Zhang, 2004; Naqvi, 2004; Solanki et al., 2024). Dentre as boas práticas incluem-se limpeza dos frutos, cuidado no desverdecimento, tratamento dos frutos com água a 50 a 56°C, na forma de imersão, *drench* ou escovamento, e aplicação fungicidas e cera (Ismail e Zhang, 2004).

Há, na literatura, grande número de publicações contendo dados acerca do potencial do manejo das doenças de pós-colheita, mediante ACBs. Experiências com sucesso têm sido constatadas por meio de diversas espécies de *Trichoderma* (*T. harzianum*, *Trichoderma guizhouense* Q.R.Li, McKenzie & Yong Wang bis, *Trichoderma atroviride* P.Karst. e *Trichoderma koningiopsis* Samuels, Carm.Suárez & H.C.Evans), dentre outros ACBs (Ferreira et al., 2020). Segundo tais autores, foi constatado resposta diferencial entre os strains testados, com indicação que *T. harzianum* IC-30 foi o que positivamente se destacou, tanto em testes *in vitro*, como *in vivo*. Segundo esses investigadores, foi constatado que três semanas após inoculação de frutos cítricos com *P. digitatum* resistente a pyrimethanil, houve redução de 80% de frutos doentes. Ainda, segundo os autores, tal strain foi o que exibiu o maior nível de atividade de quitinase e glucanase. Outros ACBs com enorme potencial de integrar as estratégias de manejo das

doenças de pós-colheita são também citados na literatura (Lucon et al., 2010; Lopes et al., 2015; Klein et al., 2018; Bazioli et al., 2019; Wang et al., 2024). Além dos agentes mencionados, há também na literatura dados que evidenciam a eficácia do efeito de aplicações de suspensões contendo vários compostos na forma de sais, como bicarbonato de sódio, carbonato de sódio, silicato de sódio, bicarbonato de potássio, sorbato de potássio, cloreto de cálcio, quelato de cálcio (Youssef et al., 2012).

As demandas por práticas agrícolas mais sustentáveis nunca estiveram tão presentes como agora, fazendo-se jus a busca incessante por alternativas ecologicamente mais amigáveis ao meio ambiente, mais sustentáveis e, sobretudo, gerando produtos mais saudáveis.

Referências

Adaskaveg JE, Förster H, Hao W, Gray M (2017) Potassium phosphite resistance and new modes of action for managing *Phytophthora* diseases of Citrus in the United States. In: Deising HB, Fraaije B, Mehl A, Oerke EC, Sierotzki H, Stammler G (Eds.) **Modern Fungicides and Antifungal Compounds**, v. VIII. Deutsche Phytomedizinische Gesellschaft, Braunschweig. pp. 205-210.

Agustí M, Zaragoza S, Bleiholder L, Buhr H, Hack H, Klose R, Staub R (1997) Adaptation de L'échelle BBCH à la Description des Estados Phénologiques de Agrumes de Genre Citrus. **Fruits** 52(5):287-295.

Almeida TF (2009) **Mancha preta dos citros: expressão dos sintomas em frutos pela inoculação com conídios e controle do agente causal (*Guignardia citricarpa*)**. 66 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

Amorim EPR, Melo IS (2002) Ação antagônica de rizobactérias contra *Phytophthora parasitica* e *P. citrophthora* e seu efeito no desenvolvimento de plântulas de citros. **Revista Brasileira de Fruticultura** 24(2):565-568.

Bazioli JM, Belinato JR, Costa JH, Akiyama DY, Pontes JGDM, Kupper KC, Fill TP (2019) Biological control of citrus postharvest phytopathogens. **Toxins** 11(8):460.

Behlau F, Gochez AM, Jones JB (2020) Diversity and copper resistance of *Xanthomonas* affecting citrus. **Tropical Plant Pathology** 45:200-212.

Cao P, Zhou J, Wang X, Li C, Li J, Jiang P, Liu J, Song Z (2024) Optimization and application of rapid evaluation system for Citrus Huanglongbing resistance mediated by *Agrobacterium rhizogenes*. **Scientia Agricultura Sinica** 57(16):3182-3191.

Colburn GC, Graham JH (2007) Protection of citrus rootstocks against *Phytophthora* spp. with a hypovirulent isolate of *Phytophthora nicotianae*. **Phytopathology** 97(8):958-63.

Daungfu O, Youpensuk S, Lumyong S (2019) Endophytic bacteria isolated from Citrus plants for biological control of Citrus Canker in lime plants. **Tropical Life Sciences Research** 30(1):73-88.

Ferreira FV, Herrmann Andrade AM, Calabrese CD, Bello F, Vázquez D, Musumeci MA (2020) Effectiveness of *Trichoderma* strains isolated from the rhizosphere of citrus tree to control *Alternaria alternata*, *Colletotrichum gloeosporioides* and *Penicillium digitatum* A21 resistant to pyrimethanil in post harvest oranges (*Citrus sinensis* L. (Osbeck)). **Journal of Applied Microbiology** 129(3):712-727.

Fundecitrus (2021) <<https://www.fundecitrus.com.br/comunicacao/noticias/integra/cancro-citrico-crece-15-em-relacao-a-2019-e-incidencia-de-cvc-se-mantem-baixa/943>> Acesso em 20/02/2025.

Fundecitrus (2024) <https://www.fundecitrus.com.br/pdf/levantamentos/Levantamento_Resumo_greening_2024v2.pdf> Acesso em 02/03/2025.

Gabriel D, Gottwald TR, Lopes SA, Wulff NA (2020) Bacterial pathogens of citrus: Citrus canker, citrus

variegated chlorosis and Huanglongbing. In: Talon M, Caruso M, Gmitter FG (Eds.) **The Genus Citrus**. Woodhead Publishing. pp. 371–389.

Gade RM (2012) Biological and chemical management of *Phytophthora* root rot /collar rot in citrus nursery. **The Bioscan** 7(4):631–635.

Graham J, Feichtenberger E (2015) Citrus phytophthora diseases: Management challenges and successes. **Journal of Citrus Pathology** 2(1).

Graham JH, Johnson EG, Myers ME, Young M, Rajasekaran P, Das S, Santra S (2016) Potential of nano-formulated zinc oxide for control of citrus canker on grapefruit trees. **Plant Disease** 100(12):2442–2447.

Gurung FB, Ancona V, Campos M, Choppakatla VK (2020) Efficacy test of commercial formulations against *Phytophthora* root rot of citrus. **Subtropical Agriculture and Environments** 71:29–35.

Hafiz AS, Sahi TST, Habib A, Haq IU, Ahmad A, Ashraf W (2016) Evaluation of plant extracts as biocontrol agents against *Xanthomonas axonopodis* pv *citri* the cause of citrus canker. **Pakistan Journal of Phytopathology** 28(1):35–43.

Hao W, Förster H, Adaskaveg JE (2021) Resistance to potassium phosphite in *Phytophthora* species causing citrus brown rot and integrated practices for management of resistant isolates. **Plant Disease** 105(2):972–977.

Hao W, Gray MA, Förster H, Adaskaveg JE (2019) Evaluation of new Oomycota fungicides for management of *Phytophthora* root rot of citrus in California. **Plant Disease** 103(4):619–628.

Hung PM, Wattanachai P, Kasem S, Poaim S (2015) Biological control of *Phytophthora palmivora* causing root rot of Pomelo using *Chaetomium* spp. **Mycobiology** 43(1):63–70.

Islam N, Ali S, Choi SJ, Hyun JW, Baek KH (2019) Biocontrol of citrus canker disease caused by *Xanthomonas citri* subsp. *citri* using an endophytic *Bacillus thuringiensis*. **Plant Pathology Journal** 35(5): 486–497.

Ismail ME, Zhang J (2004) Post-harvest citrus diseases and their control. **Outlooks on Pest Management** 15(1):29–35.

Jagtap GP, Thosar RU, Utpal D (2012) Evaluation of plant extracts and bioagents for the control of gummosis of mandarin orange (*Citrus reticulata* blanco) caused by *Phytophthora* species. **African Journal of Agricultural Research** 7(32):4553–4558.

Janisiewicz WJ, Korsten L (2002) Biological control of postharvest diseases of fruits. **Annual Review of Phytopathology** 40(9):411–441.

Johnson E (2019) **Phytophthora**: An old problem with new challenges. Citrus Industry. <https://citrusindustry.net/2019/03/12/phytophthora-an-old-problem-with-new-challenges/> Acesso em abril de 2025.

Kah M, Navarro D, Kookana RS, Kirby JK, Santra S, Ozcan A, Kabiri S (2019) Impact of (nano)formulations on the distribution and wash-off of copper pesticides and fertilisers applied on citrus leaves. **Environmental**

02 - CONTROLE BIOLÓGICO DE DOENÇAS NA CITRICULTURA

Chemistry 16(6):401-410.

Klein MN, Kupper KC (2018) Biofilm production by *Aureobasidium pullulans* improves biocontrol against sour rot in citrus. **Food Microbiology** 69:1-10.

Kupper KC, Bellotte JAM, Goes A (2009) Controle alternativo de *Colletotrichum acutatum* agente causal da queda prematura dos frutos cítricos. **Revista Brasileira de Fruticultura** 31(4):1004-1005.

Kupper KC, Corrêa FE, Azevedo FA, Silva AC (2012) *Bacillus subtilis* to biological control of postbloom fruit drop caused by *Colletotrichum acutatum* under field conditions. **Scientia Horticulturae** 134(1):139-143.

Li B, Wang S, Zhang Y, Qiu D (2020) Acid soil improvement enhances disease tolerance in Citrus infected by *Candidatus Liberibacter asiaticus*. **International Journal of Molecular Sciences** 21(10):3614.

Lopes MR, Klein MN, Ferraz LP, Silva AC, Kupper KC (2015) *Saccharomyces cerevisiae*: a novel and efficient biological control agent for *Colletotrichum acutatum* during pre-harvest. **Microbiology Research** 175:93-99.

Lucon CMM, Guzzo SD, Jesus CO, Pascholati, SF, Goes A (2010) Post-harvest harpin or *Bacillus thuringiensis* treatments suppress citrus black spot in 'Valencia' oranges. **Crop Protection** 29(7):766-772.

Marin TGS, Galvanin AL, Lanza FE, Behlau F (2019) Description of copper tolerant *Xanthomonas citri* subsp. *citri* and genotypic comparison with sensitive and resistant strains. **Plant Pathology** 68:1088-1098.

Mohammadi P, Tozlu E, Kotan R, Kotan M (2016) Potential of some bacteria for biological control of postharvest Citrus Green Mould caused by *Penicillium digitatum*. **Plant Protection Science** 53(3): 134-143.

Muhammad FR, Islam N, Baek KH (2022) Biocontrol of citrus bacterial canker caused by *Xanthomonas citri* subsp. *citri* by *Bacillus velezensis*. **Saudi Journal of Biological Sciences** 29(4):2363-2371.

Naqvi SAMH (2004) Diagnosis and management of pre and post-harvest diseases of citrus fruit. In: Naqvi SAMH (Ed.) **Diseases of fruits and vegetables**. Springer, Dordrecht. pp. 339-359.

Palou L, Smilanick JLS, Droby S (2008) Alternatives to conventional fungicides for the control of citrus postharvest green and blue moulds. **Stewart Postharvest Review** 2(2):1-16.

Riera N, Utpal H, Zhang Y, Dewdney MM, Wang N (2017) Characterization of antimicrobial-producing beneficial bacteria isolated from Huanglongbing escape citrus trees. **Frontiers in Microbiology** 8:2415.

Sawake MM, Mangesh P, Moharil MP, Ingle YV, Pravin V, Jadhav PV, Avinash P, Ingle AP, Vaibhav C, Khelurkar VC, Dinesh H, Paithankar DH, Ganesh A, Bathe GA, Aniket K, Gade AK (2022) Management of *Phytophthora parasitica* causing gummosis in citrus using biogenic copper oxide nanoparticles. **Journal of Applied Microbiology** 132(4):3142-3154.

Shinde SB, Sadgir MD (2016) Efficiency of *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis* against *Phytophthora* spp. in citrus. **International Journal of Plant Protection** 9(1):15-20.

- Silva AR, Pinto KNS, Maserti BE, Santos-Filho HPS, Gesteira ASG (2021) Systematic review of defense responses against *Phytophthora* and strategies to manage *Phytophthora* diseases in citrus. **Functional Plant Biology** 48(10):1086-1086.
- Solanki MK, Wang Z, Kaushik A, Singh VK, Roychowdhury R, Kumar M, Kumar D, Singh J, Singh SK, Dixit B, Kumar A (2024) From orchard to table: Significance of fruit microbiota in postharvest diseases management of citrus fruits. **Food Control** 165:110698.
- Sousa MA, Granada CE (2023) Biological control of pre- and post-harvest microbial diseases in Citrus by using beneficial microorganisms. **BioControl** 68(12):75-86.
- Talibi I, Boubaker H, Boudyach EH, Ait A, Aoumar B (2014) Alternative methods for the control of postharvest citrus diseases. **Journal of Applied Microbiology** 17(7):1-17.
- Timmer LW, Graham JH, Zitko SE (1998) Metalaxyl-resistant isolates of *Phytophthora nicotianae*: Occurrence, sensitivity, and competitive parasitic ability on citrus. **Plant Disease** 82:254-261.
- Tozlu E, Kotan M, Tekiner N, Dikbaş N, Kotan R (2019) Biological control of postharvest spoilage in fresh mandarins (*Citrus reticulata* Blanco) fruits using bacteria during storage. **Erwerbs-Obstbau** 61:157-164.
- Tran NT, Miles AK, Dietzgen RG, Drenth A (2018) *Phyllosticta capitalensis* and *P. paracapitalensis* are endophytic fungi that show potential to inhibit pathogenic *P. citricarpa* on Citrus. **Australasian Plant Pathology** (48):281-296.
- Tran QV, Pakina EM, Ha CV (2024) Identification of antimicrobial peptide biosynthetic genes of *Bacillus pumilus* in suppression of *Phytophthora* spp. Дальневосточный аграрный вестник 18(2):80-88.
- Veena SS, Anandaraj M, Sarma YR (2010) Variability in the sensitivity of *Phytophthora capsici* isolates to potassium phosphonate. **Indian Phytopathology** 63(1):71-75.
- Vernière C, Cohen S, Raffanel B, Dubois A, Venard P, Panabières F (2004) Variability in pathogenicity among *Phytophthora* spp. isolated from Citrus in Corsica. **Journal of Phytopathology** 152(8/9):476-483.
- Wang X, Chen J, Liu N, Fu ZQ (2021) Dual functions of a stable peptide against Citrus Huanglongbing disease. **Trends in Plant Science** 26(7):668-670.
- Wang Z, Zhong T, Chen K, Du M, Chen G, Chen X, Wang K, Zalán Z, Takács K, Kan J (2021) Antifungal activity of volatile organic compounds produced by *Pseudomonas fluorescens* ZX and potential biocontrol of blue mold decay on postharvest citrus. **Food Control** 120:107499.
- Weideman H, Wehner FC (1993) Greenhouse evaluation of *Trichoderma harzianum* and *Fusarium oxysporum* for biological control of citrus root rot in soils naturally and artificially infested with *Phytophthora nicotianae*. **Phytophylactica** 25:101-105.
- White JF, Kingsley KL, Zhang Q, Verma R, Obi N, Dvinskikh S, Elmore MT, Verma SK, Gond SK, Kowalski KP (2019) Endophytic microbes and their potential applications in crop management. **Pest Management Science** 75(10):2558-2565.

02 - CONTROLE BIOLÓGICO DE DOENÇAS NA CITRICULTURA

Youssef K, Ligorio A, Sanzani SM, Nigro F, Ippolito A (2012) Control of storage diseases of citrus by pre- and postharvest application of salts. **Postharvest Biology and Technology** 72(10):57-63.

Zhou X, He Z, Liang Z, Stoffella PJ, Fan J, Yang Y, Powell CA (2011) Long-term use of copper-containing fungicide affects microbial properties of citrus grove soils. **Soil Science Society of America Journal** 75(3):898-906.

Zhou X, Xiong X, Lu F, Shi W, Zhou Y, Lai N, Chen LS, Huang ZR (2025) Excessive copper induces lignin biosynthesis in the leaves and roots of two citrus species: Physiological, metabolomic and anatomical aspects. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 289(1):117692.

Чан ВК, Пакина ЕН, Ха ВК (2024) Biocontrol of *Phytophthora* disease in citrus using *Bacillus pumilus* isolated from disease-suppressive citrus rhizosphere. **International Agricultural Journal** 8(3):828-843.

03

Evolução das pragas e doenças na citricultura e mudanças no manejo

Renato Beozzo Bassanezi

- 📍 Pesquisador Científico – Fundo de Defesa da Citricultura (Fundecitrus)
- ✉️ renato.bassanezi@fundecitrus.com.br

O cinturão citrícola do Estado de São Paulo e Triângulo/Sudoeste de Minas Gerais apresenta condições edafoclimáticas bastante favoráveis para o cultivo de citros, tanto que se destaca nacional e internacionalmente como a principal região produtora de laranja e de suco de laranja do mundo. Entretanto, essas condições favoráveis à cultura, associadas à característica perene dos citros, à continuidade espacial dos pomares e à baixa diversidade genética das variedades cultivadas, também são favoráveis à ocorrência de surtos de pragas e epidemias de doenças. Na literatura são citadas mais de 75 pragas, incluindo ácaros, psílídeos, pulgões, cigarrinhas, percevejos, cochonilhas, mosca-branca, mosca-negra, mosca-das-frutas, lagartas, esperanças, tripes, besouros, abelhas e formigas, e cerca de 50 doenças causadas por viroides, vírus, bactérias, fungos, nematoides e agentes desconhecidos, afetando os citros no Brasil. Essas pragas e doenças, em maior ou menor intensidade, impactam negativamente a citricultura com a redução da produção e da qualidade da fruta, reduzindo a longevidade produtiva dos pomares, aumentando os custos de produção, limitando o uso de variedades de copa e porta-enxerto, restringindo os locais de cultivo e os mercados, e determinando em cada região o perfil de produtores, o tipo de indústria citrícola e o nível de emprego.

Ao longo dos anos, o surgimento e a ocorrência de pragas e doenças têm moldado a história da citricultura no cinturão citrícola e a maneira como os citricultores têm manejado seus pomares. Até o início da década de 1960, a produção de citros era focada para atender o mercado local e a exportação de fruta fresca *in natura*. As principais pragas eram formigas *Atta* spp. e *Acromymex* spp. (Hymenoptera: Formicidae), moscas-das-frutas *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1830) e *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann, 1830) (Diptera: Tephritidae), ácaro-da-falsa-ferrugem *Phyllocoptruta oleivora* (Ashmead, 1879) (Acari: Eriophyidae), ácaro-branco *Polyphagotarsonemus latus* (Banks, 1904) (Acari: Tarsonemidae), ácaros desfolhadores *Panonychus citri* (McGregor, 1916), *Eutetranychus banksi* (Mc-

Gregor, 1914) e *Tetranychus mexicanus* (McGregor, 1950) (Acari: Tetranychidae), pulgões *Toxoptera citricida* (Kirkaldy, 1907), *Aphis gossypii* Glover, 1877 e *Aphis spiraecola* Patch, 1914 (Hemiptera: Aphididae) e cochonilhas *Praelongorthezia praelonga* (Douglas, 1891) (Hemiptera: Ortheziidae), *Selenaspis articulatus* (Morgan, 1889), *Parlatoria* spp., *Unaspis citri* Ferris, 1937 (Hemiptera: Diaspididae) e outras controladas com poucas aplicações de acaricidas e inseticidas de amplo espectro de ação.

As principais doenças desse período foram a gomose (*Phytophthora* spp.), a tristeza dos citros (*Citrus tristeza virus*), a xiloporose ou cachexia (*Hostuviroid impedihumuli*), o exocorte (*Pospiviroid exocortiscitri*) e a sorose (*Citrus psorosis virus*), controladas por meio do uso de porta-enxertos resistentes ou tolerantes e da limpeza do material propagativo por microenxertia de tecidos e produção de clones nucelares. Duas doenças fúngicas de impacto estético, a verrugose (*Elsinoë* spp.) e a melanose [*Diaporthe citri* (H.S.Fawc.) F.A.Wolf)], eram controladas com apenas duas aplicações de fungicidas cúpricos após a queda das pétalas. No final da década de 1950, o cancro cítrico, *Xanthomonas citri* subsp. *citri* (ex Hasse, 1915), foi detectado na região oeste do Estado de São Paulo, tornou-se doença quarentenária e o seu controle foi regulamentado, passando a ser baseado na erradicação obrigatória das plantas doentes e das plantas dos arredores.

Aproveitando a maior demanda por suco de laranja, após sucessivas quebras de produção devido a geadas no Estado da Flórida-EUA, na época a maior região produtora, a citricultura paulista passou a focar sua produção para industrialização e exportação de suco de laranja. Com a expansão da citricultura industrial, com grande aumento da área cultivada e concentração de pomares com poucas variedades de copas e porta-enxertos, os problemas fitossanitários foram aumentando de importância e outros novos foram surgindo. A leprose dos citros (*Citrus leprosis virus*), transmitida pelo

ácaro *Brevipalpus yothersi* Baker, 1949 (Acari: Tenuipalpidae), descrita na década de 1930, mas que até meados da década de 1960 era restrita à região de Sorocaba, foi disseminada com o transporte de frutas para as indústrias de suco por todo o Estado de São Paulo, exigindo maiores cuidados no monitoramento e controle do ácaro vetor. Mais tarde, na década de 1980, o bicho-furão-dos-citros *Gynandrosoma aurantium* Lima, 1927 (Lepidoptera: Tortricidae) foi reportado causando danos consideráveis na citricultura. Nessa época, o conceito de Manejo Integrado de Pragas (MIP) se apresentava bem difundido na citricultura, no qual a tomada de ação de controle era baseada no monitoramento frequente e sistemático de pragas nos pomares e no estabelecimento de níveis populacionais nos quais o custo do controle era menor que o dano causado pela praga. Além disso, o uso de produtos de controle mais seletivos para a preservação dos inimigos naturais e a integração de diferentes medidas de controle eram bastante recomendados. Quanto às doenças, o cancro cítrico atravessou o rio Tietê em 1977 e avançou para a área nobre da citricultura, exigindo a ampliação e o fortalecimento das ações do programa de erradicação da doença. Foi nessa época, que o setor citrícola se mobilizou e criou o Fundo de Defesa da Citricultura - Fundecitrus para auxiliar o Governo do Estado nas ações da campanha de erradicação do cancro cítrico. Nesse mesmo ano, o declínio dos citros, conhecido como *blight* nos EUA e detectado na Bahia em 1970, foi reportado pela primeira vez nos pomares paulistas, alertando para a necessidade de diversificação do uso de porta-enxertos, utilizando materiais mais tolerantes à essa doença centenária de etiologia até hoje desconhecida. A gomose ainda era importante, principalmente por causa da produção de mudas de citros no campo a céu aberto e com o plantio diretamente no solo, condição ideal para a contaminação precoce das mudas, disseminação e introdução do patógeno em novas áreas de cultivo de citros. Nessa época, 4 a 8% das laranjeiras eram perdidas anualmente devido à gomose.

A partir do final da década de 1980 e início da década de 1990, novas importantes doenças, como a clorose variegada dos citros - CVC, *Xyllela fastidiosa* subsp. *pauca* (Schaad et al., 2004), a podridão floral dos citros, *Colletotrichum abscissum* (Pinho e O.L.Pereira), e a pinta preta dos citros, *Phyllosticta citricarpa* (McAlpine Aa), surgiram ou foram introduzidas no cinturão citrícola, levando ao aumento significativo do uso preventivo de inseticidas e fungicidas. A CVC, inicialmente importante na região Norte do cinturão citrícola, rapidamente se disseminou para as demais regiões por meio da transmissão da bactéria por 13 espécies de cigarrinhas vetoras e pelo transporte e plantio de mudas contaminadas produzidas em viveiros a céu aberto. Para evitar que as plantas fossem contaminadas, eram necessárias aplicações preventivas e periódicas de inseticidas sistêmicos nas plantas jovens e inseticidas de contato nas plantas em qualquer idade. Plantas jovens até três anos de idade quando infectadas deviam ser eliminadas e plantas em produção com sintomas iniciais nas folhas ainda podiam ser recuperadas com a poda dos ramos afetados. Mesmo assim, em 1996, 22% das laranjeiras apresentavam sintomas de CVC e, em 2005, 46,7%, causando significativas perdas de produção.

A podridão floral dos citros, tornou-se endêmica, principalmente nas regiões Sul e Sudoeste do cinturão, e, em anos com ocorrência da florada simultaneamente com as chuvas, torna-se epidêmica e explosiva, exigindo aplicações sucessivas e bastante frequentes de fungicidas, principalmente nos estádios R3 (botão branco), R4 (botão expandido) e R5 (flor aberta) para evitar grandes perdas. A pinta preta dos citros surgiu na região Sul do Estado e foi gradualmente disseminada para as demais regiões do cinturão. Por ser uma doença quarentenária na Europa, assim com o cancro cítrico, nenhuma lesão é permitida no fruto para sua exportação *in natura*, além disso, quando em grande número, as lesões de pinta preta causam a queda prematura dos frutos antes do ponto de colheita. Portanto, aplicações adicionais de fungicidas (cobre a cada 21 a 28 dias ou estrobilurina a cada 35 a 42 dias), a partir

03 - EVOLUÇÃO DAS PRAGAS E DOENÇAS NA CITRICULTURA E MUDANÇAS NO MANEJO

da queda de pétalas ao final do período chuvoso, foram incorporadas no manejo dos pomares para proteção dos frutos e o controle dessa doença.

Em 1996, foi relatada a presença da larva-minadora-dos-citros *Phyllocnistis citrella* Stainton, 1856 (Lepidoptera: Gracillariidae) nos pomares, o que facilitou as infecções da bactéria do cancro cítrico e aumentou a severidade da doença pela maior produção de inóculo nas lesões formadas nas galerias abertas pela larva, alterando o padrão de distribuição espacial da doença nos pomares de altamente agregado para moderadamente agregado a aleatório. Isso levou ao aumento dos casos da doença, da dificuldade da sua erradicação e do tempo para liberação dos talhões pela metodologia adotada até então. Em 1996, 33,5 mil árvores foram erradicadas com cancro cítrico e, em 1999, a incidência de talhões contaminados chegou a 0,7% e mais de 2 milhões de árvores foram erradicadas. Esse cenário levou à mudança da legislação com o aumento do rigor das ações de erradicação da doença, o que permitiu manter a incidência de talhões contaminados abaixo de 0,2% até 2010, quando por motivos não técnicos a legislação foi abrandada e a incidência da doença voltou a subir. Em 2017 foi adotado o Sistema de Mitigação de Risco para o cancro cítrico no Estado de São Paulo, cessando o programa de erradicação obrigatório e passando-se a adotar medidas de manejo da doença, como aplicações preventivas de cobre, utilização de quebra-ventos e controle da larva-minadora-dos-citros nas brotações. As aplicações de cobre a cada 14 ou 21 dias passaram a ser feitas durante todo o período de vegetação para proteção das brotações e da queda de pétalas até o fruto atingir 5 cm de diâmetro para proteção dos frutos e evitar sua queda precoce. No caso da produção de fruta para o mercado de fruta *in natura*, o rigor da prevenção do cancro cítrico é ainda maior. A partir de então, a incidência de plantas com cancro cítrico tem aumentado gradativamente e em 2024 foram estimados 24,3% de talhões contaminados e 19,3% de laranjeiras com a doença no cinturão citrícola.

No início dos anos 2000, a morte súbita dos citros (MSC) foi reportada no norte de São Paulo e sul do Triângulo Mineiro, causando a morte de mais de 6 milhões de árvores até 2006 e obrigando os citricultores a diversificarem os cultivos com porta-enxertos tolerantes à doença, porém mais sensíveis ao déficit hídrico, o que resultou na necessidade de implementar a irrigação nos pomares dessas regiões. Felizmente, os relatos dessa doença ficaram limitados até hoje às regiões Norte e Noroeste de São Paulo e ao sul do Triângulo Mineiro.

Por causa da CVC, do cancro cítrico e da gomose, a partir de 1999, e obrigatoriamente em 2003, a produção de mudas de citros no Estado de São Paulo em ambiente a céu aberto foi proibida e passou a ser feita obrigatoriamente em viveiros protegidos com telados contra insetos vetores e cobertos com filme plástico para evitar o molhamento foliar, além da colocação das mudas em substratos livres de patógenos e sobre bancadas, distantes do solo. Essa medida foi extremamente importante para a redução da disseminação dessas e de outras doenças.

Em 2004, o huanglongbing (HLB ou *greening*), causado principalmente por *Candidatus Liberibacter asiaticus*, transmitido pelo psílideo-dos-citros *Diaphorina citri* Kuwayama, 1908 (Hemiptera: Psyllidae), foi reportado pela primeira vez na região Centro do Estado de São Paulo e rapidamente se espalhou para as demais regiões, principalmente Sul e Sudoeste, e para os estados de Minas Gerais (2005), Paraná (2007), Mato Grosso do Sul (2019), Santa Catarina (2022) e Goiás (2024). Além do plantio de mudas sadias produzidas em ambiente protegido e da eliminação das plantas doentes, o controle preventivo e frequente do inseto vetor constituiu-se na base do controle dessa doença, aumentando mais de duas vezes o número de pulverizações de inseticidas nos pomares. Esse controle mais intensivo do psílideo e a eliminação de pomares bastante afetados, resultou na diminuição gradual da incidência de laranjeiras com sintomas

de CVC, a ponto de em 2024 ser de apenas 0,45%. Entretanto, sem a aplicação dessas medidas por todos os citricultores de forma coordenada, simultânea e regional, dentro e fora dos pomares comerciais, esses esforços não têm sido suficientes conter o avanço do HLB, embora a taxa de progresso da incidência de HLB seja menor no cinturão citrícola em relação às taxas observadas em outras regiões e países onde o HLB está presente.

A incidência de laranjeiras com sintomas de HLB no cinturão citrícola tem aumentado sucessivamente ao longo dos anos, saindo de 0,61% em 2009 para 44,35% em 2024. As razões desse aumento progressivo do HLB são a manutenção de plantas doentes nos pomares, principalmente plantas adultas em produção, e o controle inadequado do psilídeo, como baixa qualidade de pulverização, não proporcionando boa cobertura e deposição do inseticida por toda a copa das plantas tanto em pomares recém-plantados como em pomares adultos, aplicações em intervalos longos no período de brotação e, principalmente, pela não rotação de inseticidas de diferentes modos de ação, que selecionou populações do inseto resistentes aos principais inseticidas usados até então. Nas regiões de Limeira, Porto Ferreira, Brotas, Duartina e Avaré a incidência de HLB em 2024 superou os 60%, enquanto nas regiões de Altinópolis e Bebedouro estava próxima a 40%. Nas regiões de Itapetininga, Matão e São José do Rio Preto estava pouco acima de 15% e nas regiões de Votuporanga e Triângulo Mineiro, abaixo de 5%. Como o risco de contaminação das plantas nos primeiros anos após o plantio é alto nas regiões com alta incidência de HLB, produtores têm buscado locais com menor incidência e risco para os novos plantios, tanto dentro do Estado de São Paulo, como em outros estados como Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Goiás, Bahia e Sergipe.

Pode-se afirmar que uma grande mudança no sistema de manejo de pragas e doenças nos pomares de citros ocorreu a partir da década de 1990 e mais intensamente a partir dos anos 2000 com o sur-

gimento e aumento da ocorrência de importantes doenças transmitidas por vetores (leprose, CVC e HLB) e de pragas (mosca-das-frutas e bicho-furão) e de doenças fúngicas (podridão floral, pinta preta dos citros) e bacterianas (cancro cítrico) com alto impacto na produção e queda prematura de frutos. Considerando as últimas cinco safras (2019/2020 a 2023/2024), essas pragas e doenças foram responsáveis por uma perda anual média de 35,7 milhões de caixas de laranja caídas prematuramente, respondendo por 71,6% da taxa de queda de frutas. Para essas doenças e pragas acima não há variedades comerciais resistentes ou medidas curativas economicamente viáveis em escala comercial. Por causa disso, associado ao grande impacto que causam na produção e qualidade de fruta e ao maior custo da mão de obra no campo para inspeções, o controle nos pomares de citros passou a ser cada vez mais preventivo com aplicações de acaricidas, inseticidas e fungicidas em calendários fixos cada vez mais frequentes, abandonando aos poucos o conceito do manejo baseado no monitoramento.

A alta frequência do uso desses produtos nos pomares, além do aumento de custo e possíveis danos ao ambiente, tem causado um desbalanço sobre a população de agentes de controle biológico, como ácaros e insetos predadores, parasitoides e fungos entomopatogênicos, resultando com certa frequência em surtos de pragas até então secundárias como cochonilhas e ácaros desfolhadores, ou mesmo interferindo na eficácia de controle de pragas não alvo pela estimulação na produção de enzimas detoxificantes. Aliado a isso, a restrição cada vez maior dos países importadores de suco de laranja ao uso de defensivos químicos e à menor quantidade de novas moléculas disponíveis para uso nos pomares têm tido como efeito colateral o uso sequencial e repetido de moléculas com o mesmo modo de ação, aumentando da velocidade de seleção de populações resistentes de pragas e patógenos a determinados grupos químicos que acabam por ter sua eficácia de controle significativamente reduzida.

03 - EVOLUÇÃO DAS PRAGAS E DOENÇAS NA CITRICULTURA E MUDANÇAS NO MANEJO

Nesse cenário, para a manutenção da competitividade e sustentabilidade da citricultura do cinturão citrícola, é cada vez mais importante o uso criterioso dos defensivos químicos no manejo das pragas e doenças, estabelecendo melhores doses, rotações de produtos e os períodos críticos para as aplicações, com monitoramento e alertas. Também é necessária a integração de outras medidas de controle no programa de manejo não deixando-o exclusivamente a cargo dos defensivos químicos, cada vez mais combatidos e raros. Nesse contexto, é necessário encontrar meios para que os produtos biológicos e naturais possam ser incorporados ao programa de manejo para auxiliar no reequilíbrio do sistema e contribuir tanto no controle das pragas e doenças, como na prevenção da resistência e reestabelecimento da suscetibilidade das populações de pragas e patógenos aos defensivos químicos.

04

Avanços e perspectivas para incorporação do controle biológico no manejo integrado de ácaros

Daniel Júnior de Andrade

📍 Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias (Unesp-FCAV),
Jaboticabal, São Paulo, Brasil

✉️ daniel.andrade@unesp.br

Contextualização: o papel do controle biológico no MIP

A citricultura está entre as principais atividades agrícolas do Brasil, com o país consolidado como o maior produtor e exportador mundial de suco de laranja. Na safra 2023/24, o cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro registrou uma produção de 307,22 milhões de caixas de 40,8 kg (Fundecitrus, 2024), cultivadas em uma área de 575.437 hectares (IBGE, 2024). O estado de São Paulo se destaca como o maior produtor citrícola do país, respondendo por 90% das exportações e movimentando, segundo estimativas, cerca de US\$ 14 bilhões por ano, além de gerar milhares de empregos (Girardi et al., 2021). Além disso, o Brasil também é um grande produtor de lima ácida Tahiti, figurando entre os principais produtores (Gomes, 2024).

Apesar da relevância da citricultura brasileira no cenário mundial, o setor enfrenta atualmente sérias ameaças à sua sustentabilidade, principalmente relacionadas às mudanças climáticas e aos graves problemas fitossanitários (Moreira et al., 2022; Raserá et al., 2023). Entre os problemas fitossanitários, destaca-se a doença bacteriana Huanglongbing (HLB), ou *Greening* dos citros, considerada atualmente a doença mais destrutiva para plantas cítricas em diversas partes do mundo (Limayem et al., 2024).

O manejo do HLB baseia-se na aplicação semanal ou quinzenal de inseticidas químicos para o controle do inseto-vetor, o psílídeo-dos-citros *Diaphorina citri* Kuwayama, 1908 (Hemiptera: Psyllidae), e na erradicação de plantas sintomáticas (Miranda et al., 2018). No entanto, aplicações sucessivas de inseticidas químicos nos pomares citrícolas podem provocar diversos impactos negativos, como a eliminação de inimigos naturais, de polinizadores e de outros organismos não alvo, além de favorecer a resistência de pragas, o efeito de hormese e o ressurgimento de pragas secundárias (Cutler, 2013; Rocha et al., 2021; Hu et al., 2022).

O controle biológico é uma das principais táticas dentro do Manejo Integrado de Pragas (MIP) e pode auxiliar no manejo sustentável de ácaros e insetos pragas na citricultura. Entretanto, atualmente, como mencionado o seu uso está bastante limitado na citricultura brasileira, principalmente devido as inúmeras aplicações de produtos químicos, que dificultam a implementação do controle biológico. Apesar desses desafios, o controle biológico é uma estratégia viável e deve ser explorado de forma eficiente para garantir a competitividade da citricultura brasileira, atendendo às exigências do mercado e lidando com a crescente escassez de produtos químicos.

A história da citricultura mundial está repleta de casos de sucesso de Controle Biológico Clássico, que consiste na introdução de inimigos naturais exóticos em uma nova região para controle de uma praga, geralmente também exótica e que não possui inimigos naturais eficientes na região de ocorrência. Em linhas gerais, o Controle Biológico Clássico consiste na busca e na introdução de um inimigo natural exótico para controle de uma praga específica visando à restauração do equilíbrio ecológico. Um dos casos mais famosos de Controle Biológico Clássico na citricultura foi a introdução da joaninha *Novius cardinalis* (Mulsant, 1850) (Coleoptera: Coccinellidae) em 1888, uma espécie nativa da Austrália, para o controle da cochonilha-australiana *Icerya purchasi* Maskell, 1879 (Hemiptera: Monophlebidae) na Califórnia. Essa introdução é considerada um dos primeiros e mais bem-sucedidos exemplos de controle biológico clássico. Mais tarde, na citricultura brasileira, houve outros dois casos bem sucedidos de Controle Biológico Clássico, sendo o primeiro caso na década de 1990 envolvendo a introdução do parasitoide *Ageniaspis citricola* Logvinovskaya, 1983 (Hymenoptera: Encyrtidae) para controle da larva-minadora-dos-citros *Phyllocnistis citrella* Stainton, 1856 (Lepidoptera: Gracillariidae). Posteriormente, em 2004, foi introduzido outro parasitoide, *Tamarixia radiata* (Waterston, 1922) (Hymenoptera: Eulophidae), para o controle do psíldeo-dos-citros *D. citri*.

Diversas espécies de ácaros infestam plantas cítricas no Brasil, entretanto seis espécies são consideradas pragas, devido a capacidade de causar danos ou transmissão de fitopatógenos, sendo estas o ácaro-da-leprose-dos-citros *Brevipalpus yothersi* Baker, 1949 (Acari: Tenuipalpidae), o ácaro-da-ferrugem-dos-citros *Phyllocoptruta oleivora* (Ashmead, 1879) (Acari: Eriophyidae), o ácaro-branco *Polyphagotarsonemus latus* (Banks, 1904) (Acari: Tarsonemidae), o ácaro-purpúreo-dos-citros *Panonychus citri* (McGregor, 1916), o ácaro-texano-dos-citros *Eutetranychus banksi* (McGregor, 1914) e o ácaro-mexicano-dos-citros *Tetranychus mexicanus* (McGregor, 1950) (Acari:

Tetranychidae). Dentre essas espécies, *B. yothersi* e *P. oleivora* são considerados pragas-chave na citricultura brasileira, pois ocorrem todos os anos e exigem controle sistemático.

Na citricultura brasileira, há relatos de diversos casos de sucesso no controle biológico de pragas, inclusive de ácaros pragas. Entretanto, atualmente, as aplicações sucessivas de pesticidas têm inviabilizado a implementação de vários programas de controle biológico, uma vez que a maioria desses produtos é nociva aos inimigos naturais e aos agentes de controle biológico. Diante desse cenário, como é possível implementar estratégias de controle biológico de ácaros na citricultura brasileira? Com essa perspectiva, este capítulo discute as possibilidades de aplicação do controle biológico na citricultura, considerando casos bem-sucedidos e as oportunidades atuais de implementação.

Macrobiológicos Ácaros predadores

Para controle de ácaros pragas na citricultura brasileira não há casos específicos de Controle Biológico Clássico. Contudo, na citricultura mundial existem alguns casos bem documentados de Controle Biológico Clássico, envolvendo principalmente a introdução de ácaros predadores para controle de ácaros pragas. Um dos exemplos mais notórios foi a introdução na década de 1970 do ácaro predador *Euseius stipulatus* (Athias-Henriot, 1960) (Mesos-

tigmata: Phytoseiidae) para controle de *P. citri* na Califórnia com resultados bastante satisfatórios. Em outros países, como no Peru, *E. stipulatus* e *Euseius scutalis* (Athias-Henriot, 1958) (Mesostigmata: Phytoseiidae) têm sido multiplicados em laboratório em criações massais e liberados nos pomares cítricos para controle dos ácaros pragas *P. oleivora* e *P. citri* (Figura 1).



Figura 1

Detalhes de uma criação massal do ácaro predador *Euseius scutalis* utilizado nos pomares cítricos do Peru para controle de ácaros pragas. Peru, fevereiro de 2025.

No Brasil, diversas espécies de ácaros predadores ocorrem naturalmente em citros, com destaque para as espécies pertencentes as famílias Phytoseiidae e Stigmaeidae, que são as mais frequentes e abundantes nos pomares cítricos. Entre as espécies de fitoseídeos mais frequentes nos pomares cítricos brasileiros, destacam-se *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma, 1972, *Euseius citrifolius* Denmark e Muma, 1970 e *Euseius concordis* (Chant, 1959) (Mesostigmata: Phytoseiidae) (Sato et al., 2022). Quanto aos estigmeídeos, Matioli et al. (2002) reportaram *Agistemus brasiliensis* Matioli, Ueckermann & Oliveira, 2002, *Agistemus floridanus* Gonzalez-Rodriguez, 1965 e *Zetzellia malviniae* Matioli, Ueckermann & Oliveira, 2002 (Acari: Stigmaeidae) como as espécies mais comuns nos pomares do Estado de São Paulo, com destaque para *A. brasiliensis* que representou 85% dos estigmeídeos encontrados.

Outra possibilidade para uso de ácaros predadores seria a utilização de ácaros predadores resistentes a pesticidas. Hesketh e Sato (2023) encontraram, em pomar comercial localizado em Taquaral, São Paulo, populações de ácaros *E. concordis* e *E. citrifolius* com baixa suscetibilidade à fenpropratrina, com valores de CL_{50} 95 vezes maiores que a concentração recomendada para o controle de *B. yothersi*. Além disso, a população de *E. citrifolius* apresentou alta capacidade de predação de larvas de *B. yothersi*, com consumo de até 49,4 larvas por fêmea adulta por dia.

Com relação à utilização de ácaros predadores exóticos em citros no Brasil, estudos apontaram resultados promissores após a liberação do predador *Neoseiulus californicus* (McGregor, 1954) (Mesostigmata: Phytoseiidae). Trata-se de uma espécie generalista amplamente utilizada em diversos países para o controle de ácaros tetraniquídeos, principalmente devido à facilidade de produção massal em laboratório. Pesquisas demonstraram o potencial de *N. californicus* no controle de ácaros pragas presentes em citros, como *P. oleivora*,

Brevipalpus sp., *P. citri* e *T. mexicanus* (Silva, 2005; Silva et al., 2015; Ennes, 2017). Mais detalhes sobre o tema foi publicado por Sato et al. (2022) em uma ampla revisão sobre o papel dos ácaros predadores no controle biológico do ácaro-da-leprose-dos-citros.

Contudo, é importante reforçar que existem inúmeras espécies de ácaros predadores associadas às plantas cítricas que podem ser exploradas como agentes de controle de ácaros pragas. Um exemplo disso ocorreu em 2024, em um pomar cítrico comercial, localizado próximo ao município de Bariri, São Paulo. Inspetoras de pragas relataram a presença frequente e abundante de um ácaro avermelhado, semelhante ao ácaro-da-leprose-dos-citros *B. yothersi*. Inicialmente, as inspetoras acreditavam que fosse um ácaro praga, dada a semelhança entre este ácaro e o *B. yothersi* (Figura 2). No entanto, após coletas na área, montagem em lâminas de microscopia e identificação por especialistas da Unesp, câmpus de Jaboticabal, verificou-se que, na verdade, tratava-se de uma espécie de ácaro predador *Saniosulus nudus* Summers, 1960 (Acari: Eupalopsellidae), pertencente à família Eupalopsellidae. Este predador encontrava-se associado a *B. yothersi*, *P. oleivora* e cochonilhas. Esse caso evidencia a existência de espécies de predadores capazes de sobreviver em pomares comerciais com aplicações frequentes de pesticidas e ao mesmo tempo com potencial para uso no controle biológico de ácaros.

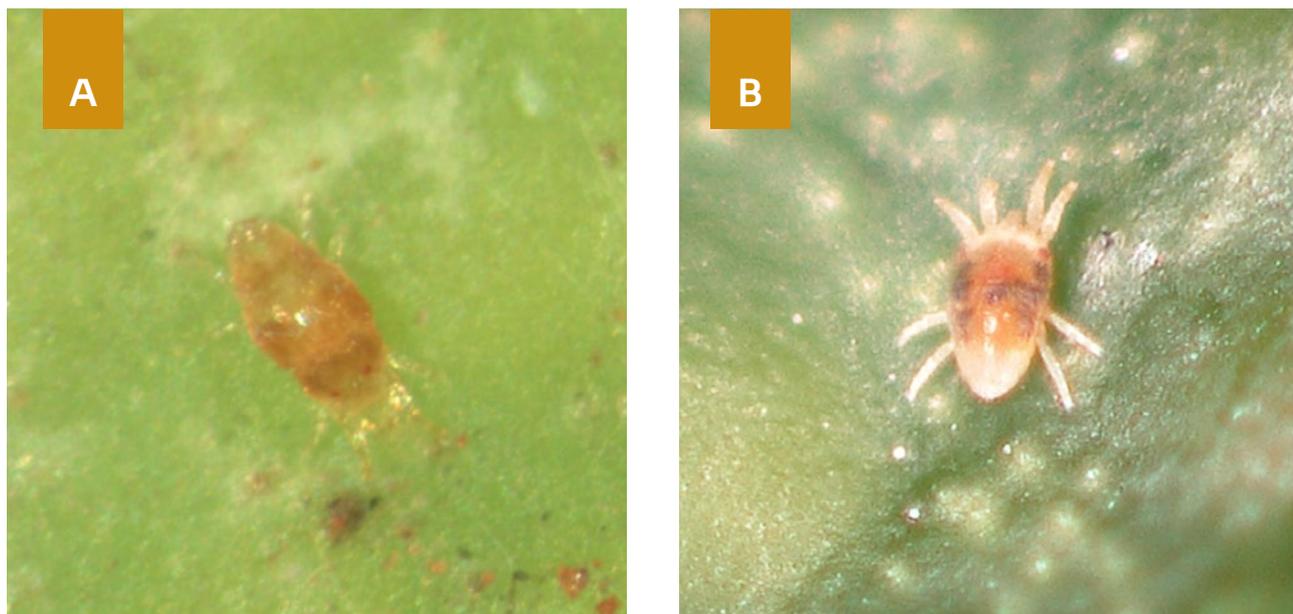


Figura 2
(A) Ácaro predador *Saniosulus nudus* (Eupalopsellidae) encontrado em elevado nível populacional em pomar comercial com aplicações sistemáticas de produtos químicos e (B) ácaro-da-leprose-dos-citros *Brevipalpus yothersi*.

Insetos predadores

Diversos insetos predadores são encontrados em pomares cítricos associados aos ácaros pragas, com destaque para aqueles pertencentes às famílias Coccinellidae e Chrysopidae. A família Coccinellidae agrupa insetos comumente chamados de joaninhas, que possuem uma grande importância ecológica, inclusive como reguladores de populações de ácaros pragas (Costa et al., 2017). No entanto, há poucos estudos sobre a aplicação prática das joaninhas no controle biológico de ácaros em citros no Brasil, sendo que as pesquisas se concentram principalmente na ocorrência natural de espécies de coccinélídeos e na seletividade à pesticidas. Porém, há um grande potencial dentro desse grupo que pode, em algum momento, ser utilizado no controle de ácaros pragas. Por exemplo, dentro da família Coccinellidae, existe a tribo Stethorini Dobzhansky, que agrupa dois gêneros: *Stethorus* Weise, 1885 e *Parastethorus* Pang & Mao, 1975 (Coleoptera: Coccinellidae), ambos compostos por insetos especializados na alimentação de ácaros (Biddinger et al., 2009).

Yang et al. (1996) verificaram que a eficiência do biocontrole do ácaro-purpúreo-dos-citros *P. citri* com a joaninha *Stethorus punctillum* Weise, 1891 (Coleoptera: Coccinellidae) em pomares cítricos pode ser aumentada de duas formas: por meio de liberações periódicas do predador ou pelo plantio de plantas hospedeiras alternativas, que fornecem refúgio para *S. punctillum* e permitem sua sobrevivência durante períodos de escassez de alimento. Palomares-Pérez et al. (2021) identificaram oito inimigos naturais associados a ácaros *Brevipalpus* sp., vetores da leprose dos citros, em pomares no México (Colima). Entre esses inimigos naturais, foram registradas três espécies de joaninhas: *Stethorus* sp., *Diomus terminatus* (Say, 1835) e *Azya orbiger* Mulsant, 1850 (Coleoptera: Coccinellidae).

Os crisopídeos (Neuroptera: Chrysopidae), popularmente conhecidos como “bicho-lixeiro”, constituem um grupo de grande importância como inimigos naturais de ácaros pragas em citros. São

insetos predadores generalistas que utilizam diversos artrópodes como alimento, incluindo ácaros, cochonilhas, pequenos hemípteros e outros insetos (Rugno, 2019). Mais de trinta espécies de crisopídeos foram relatadas em pomares de laranja no Brasil (Freitas e Penny, 2001).

Rugno (2019) realizou coletas de crisopídeos entre os anos de 2015 e 2017 em pomares cítricos localizados no estado de São Paulo, sob manejo convencional e orgânico. O autor verificou que não houve diferenças estatísticas na abundância e diversidade de crisopídeos entre os dois sistemas de manejo. As espécies coletadas e identificadas foram: *Ceraeochrysa cincta* (Schneider, 1851), *Ceraeochrysa cubana* (Hagen, 1861), *Ceraeochrysa paraguaria* (Navás, 1920), *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861), *Chrysoperla defreitasi* Brooks, 1994 e *Leucochrysa cruentata* (Schneider, 1851) (Neuroptera: Chrysopidae). No entanto, *C. cincta* foi a espécie com o maior número de indivíduos coletados, representando mais de 60% do total, além de estar presente nos pomares ao longo de todo o ano. Além disso,

C. cincta demonstrou maior tolerância aos inseticidas bifentrina, clorpirifós e imidacloprido, evidenciando seu potencial para uso em pomares com elevada frequência de aplicação de pesticidas.

Estudos laboratoriais indicaram a alta capacidade predatória de *C. externa* sobre ovos de *B. yothersi*, com uma média de 16,1 ovos consumidos em quatro horas (96,6 ovos/dia) por larva de segundo ínstar do crisopídeo (Chagas, 2017). Além disso, Sato et al. (2022) relatam que uma linhagem de *C. externa* mantida em laboratório no Instituto Biológico apresentou baixa suscetibilidade a diversos inseticidas-acaricidas, com mortalidade inferior a 5% quando exposta às concentrações recomendadas de abamectina, ciflumetofen, espiroclifeno e fenpiroximato, e inferior a 25% para fenpropatrina. Mais uma vez, esses resultados indicam a compatibilidade entre determinadas espécies de crisopídeos e o controle químico convencionalmente adotado nos pomares cítricos.

Microbiológicos Vírus entomopatogênicos

A ocorrência de vírus regulando populações de ácaros em citros não é um assunto novo. Trabalho publicado na prestigiada revista Nature por Smith et al. (1959) relata que foram encontrados espécimes de *P. citri* (ácaro-purpúreo-dos-citros) em Oxnard, Califórnia infectados com um suposto vírus. Os autores conseguiram transmitir o patógeno para ácaros saudáveis por dois métodos: (i) por transferência de ácaros saudáveis para limões que continham uma população doente; (ii) por pulverização de uma suspensão aquosa, preparada a partir de ácaros doentes triturados, sobre colônias de ácaros saudáveis. Os autores comentaram na época que esse estudo possivelmente foi o primeiro registro conhecido de uma doença viral em aracnídeos, sugerindo que vírus podem estar presentes em outros grupos de organismos nos quais ainda não haviam sido detectados.

Mais tarde, Shaw et al. (1969) tentaram controlar populações de ácaro-purpúreo-dos-citros em casas de vegetação na Califórnia com pulverizações de suspensões contendo inóculo virais, obtidos a partir da trituração de ácaros infectados com vírus sem inclusão. Os autores obtiveram excelentes resultados, em que as populações de *P. citri* foram efetivamente controladas em casas de vegetação localizadas próximas a cidade de Chula Vista. Por outro lado, em Riverside, as populações foram apenas suprimidas e, pouco tempo após a aplicação, houve um aumento populacional. Os melhores resultados obtidos em Chula Vista foram atribuídos às condições climáticas mais favoráveis à proliferação do vírus, como temperaturas mais amenas em comparação às de Riverside.

04 - AVANÇOS E PERSPECTIVAS PARA INCORPORAÇÃO DO CONTROLE BIOLÓGICO NO MANEJO INTEGRADO DE ÁCAROS

A liberação de ácaros *P. citri* infectados com vírus em plantas cítricas infestadas por *P. citri* saudáveis foi avaliada por Shaw e Beavers (1970). A liberação de ácaros doentes mostrou-se eficiente na supressão da praga em plantas altamente infestadas, todavia foi pouco eficaz quando aplicada em plantas com baixa infestação. Dessa forma, os autores con-

cluíram que a propagação da doença viral é dependente do tamanho da população. Contudo, apesar dos resultados promissores obtidos no passado, atualmente há pouco avanço nas pesquisas, bem como na utilização de vírus no controle de ácaros. Certamente, é um campo do conhecimento ainda a ser explorado.

Bactérias entomopatogênicas

A utilização de bactérias entomopatogênicas no controle de ácaros pragas na agricultura é muito pouco explorado. Em citros, observa-se um crescente interesse na produção e comercialização de produtos à base de bactérias entomopatogênicas, principalmente devido ao sucesso do uso da bactéria *Bacillus thuringiensis* Berliner, 1915 no controle do bicho-furão-dos-citros *Gymnandrosoma aurantianum* Lima, 1927 (Lepidoptera: Tortricidae). Há trabalhos na literatura que sugerem que a bactéria *B. thuringiensis* possui ação sobre ácaros pragas (Hall et al., 1971; Hoy e Ouyang, 1987; Van Der Geest et al., 2000; Alahyane et al., 2019).

É importante destacar que *B. thuringiensis* atua por ingestão e necessita de pH básico para solubiliza-

ção e ativação das toxinas ativas (Cry ou Cyt), que então se ligam a receptores específicos presentes nas células epiteliais do intestino médio da praga, levando-o a morte (Van Der Geest et al., 2000). No caso de ácaros, esse mecanismo de ação de *B. thuringiensis* ainda não foi totalmente esclarecido. Há, inclusive, dúvidas se os ácaros pragas conseguem ingerir a bactéria, devido ao tamanho diminuto do canal de alimentação. Diversas outras bactérias possuem potencial ou merecem ser melhor estudadas para utilização no manejo de ácaros, como *Bacillus subtilis* (Ehrenberg 1835) Cohn 1872, *Paenibacillus durus* (Smith e Cato, 1974) Collins et al., 1994, *Chromobacterium subtsugae* Martin et al., 2007, *Streptomyces avermitilis* (ex Burg et al. 1979) Kim and Goodfellow 2002 e *Sacharopolyspora spinosa* Mertz e Yao, 1990 (Al-Azzazy et al., 2020).

Fungos entomopatogênicos

Há relatos antigos de fungos controlando naturalmente populações do ácaro-da-ferrugem-dos-citros *P. oleivora* e do ácaro-purpúreo-dos-citros *P. citri* na citricultura da Flórida (Speare e Yothers, 1924; Fisher, 1951). Certamente, entre os microrganismos entomopatogênicos utilizados no controle de ácaros, os fungos foram os que mais receberam atenção nas últimas décadas, possivelmente pela maior facilidade de produção e formulação, alta capacidade de adaptação a diferentes ambientes, maior compatibilidade com outros métodos de controle, entre outras vantagens (Paz et al., 2007; Gerson et al., 2008). O potencial de diversos fungos no controle de ácaros em citros foi demons-

trado em trabalhos de pesquisa, com destaque para os fungos *Hirsutella thompsonii* Fisher, *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill., *Cordyceps fumosorosea* (Wize) Kepler, B. Shrestha & Spatafora, *Cordyceps javanica* (Bally) Kepler, B. Shrestha & Spatafora, *Neozygites floridana* (Weiser e Muma) Remaudière & Keller, *Hirsutella kirchneri* (O.Rostr.) Minter, B.L.Brady & R.A.Hall e *Hirsutella nodulosa* Petch (Van Der Geest et al., 2000; Paz et al., 2007; Conceschi, 2017).

As pesquisas no Brasil sobre o uso de fungos para o controle de ácaros em citros ganharam maior

impulso a partir da década de 2000 (Alves et al., 2005; Rossi-Zalaf e Alves, 2006; Alves et al., 2008). Entretanto, a utilização de produtos à base de fungos entomopatogênicos na citricultura brasileira intensificou-se somente nos últimos anos, com o lançamento de diversos produtos formulados e aumento das opções para os produtores.

Foi realizado um experimento no ano de 2020 em pomar de laranja Pera com 12 anos de idade localizado na região de Bebedouro, São Paulo, com o

objetivo de avaliar produtos à base de fungos (*H. thompsonii* e *C. fumosorosea*) no controle do ácaro-da-ferrugem-dos-citros *P. oleivora*. Foram realizadas três aplicações sequenciais dos tratamentos, conforme indicado na Figura 3. Os tratamentos foram aplicados com turbopulverizador Arbus Tower 4000 (Jacto) e volume de calda de 80 mL/m³ de copa. Os resultados também foram bastante interessantes, pois os tratamentos com os fungos foram capazes de suprimir eficientemente a população do ácaro, durante todo o período do experimento (Figura 3).

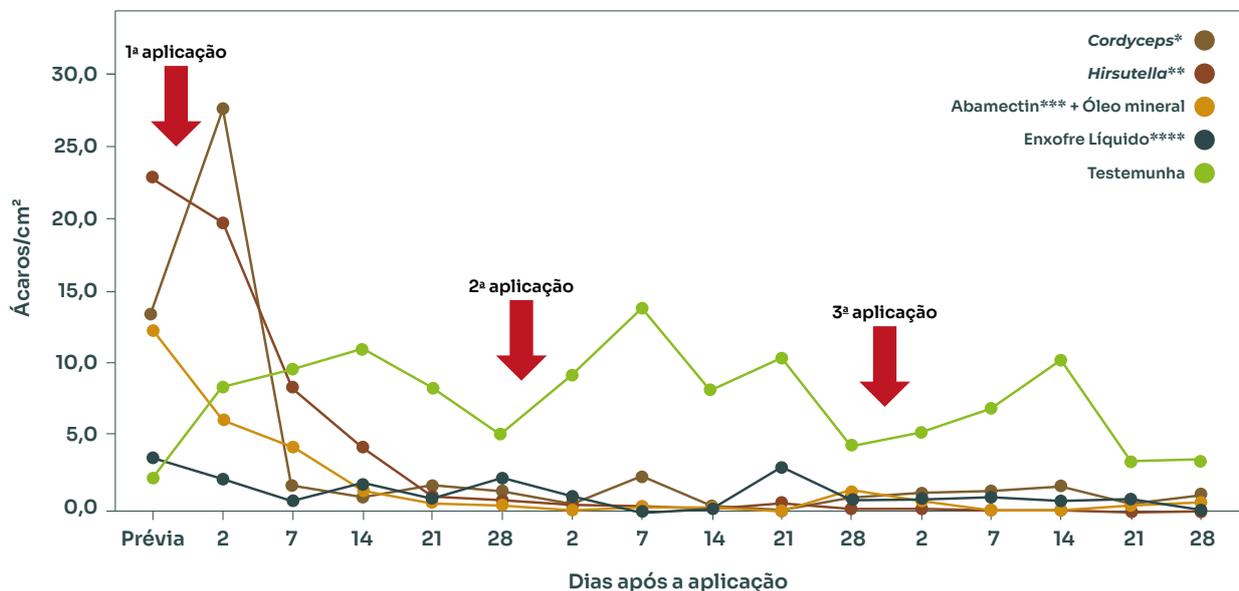


Figura 3

Flutuação populacional do ácaro-da-ferrugem-dos-citros *Phyllocoptruta oleivora* no experimento de avaliação dos tratamentos à base de fungo em condições de campo (pomar de laranja). Bebedouro, São Paulo, 2020. *Challenger® a 200 mL/100 L; **Skupa-Mite® a 100 mL/100 L; ***Vertimec 18 EC® a 15 mL/100 L + 250 mL/100 L de óleo mineral. **** Sulfur® 800 a 250 mL/100 L.

04 - AVANÇOS E PERSPECTIVAS PARA INCORPORAÇÃO DO CONTROLE BIOLÓGICO NO MANEJO INTEGRADO DE ÁCAROS

Nos meses de janeiro e fevereiro de 2021, foi realizada uma outra pesquisa em pomar de laranja doce da variedade Pera com 12 anos de idade, também localizado na região de Bebedouro, São Paulo, com o intuito de avaliar a eficiência de campo de dois produtos formulados à base de fungos entomopatogênicos (*H. thompsonii* e *C. fumosorosea*) no controle do ácaro-branco *P. latus*. Os produtos fo-

ram aplicados uma única vez com turbopulverizador Arbus Tower 4000 (Jacto) e volume de calda de 80 mL/m³ de copa. Os resultados foram bastante satisfatórios e os tratamentos com os fungos reduziram significativamente a população do ácaro em comparação à testemunha sem aplicação (Figura 4).

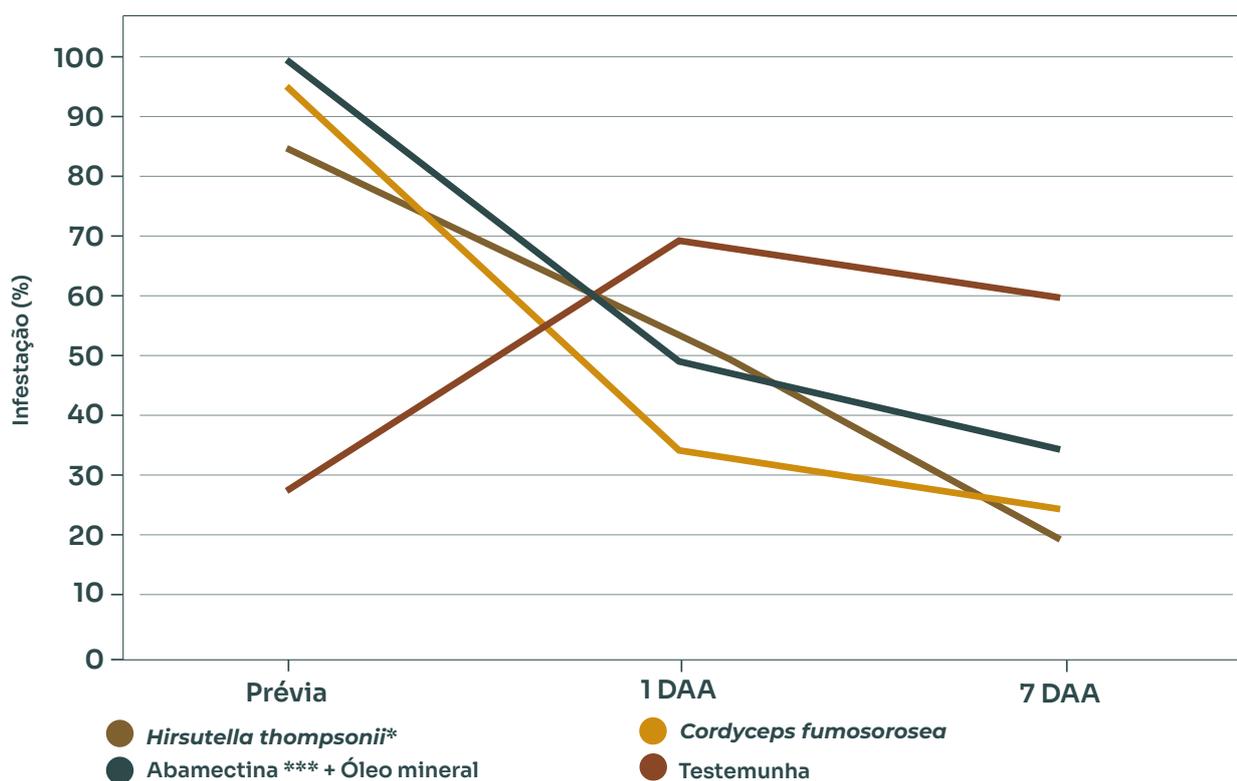


Figura 4

Eficiência de produtos biológicos à base de fungos entomopatogênicos sobre o ácaro-branco *Polyphagotarsonemus latus* em condições de campo (pomar de laranja). Bebedouro, São Paulo, 2021. *Skupa-Mite® a 100 mL/100 L; **Challenger® a 100 mL/100 L; ***Abamex® a 30 mL/100 L + 250 mL/100 L de óleo mineral Lubroppa®. DAA = Dias após a aplicação.

Os fungos entomopatogênicos também se destacam como alternativas promissoras para o controle do ácaro-da-leprose-dos-citros. Diversas espécies de fungos apresentam atividade sobre essa praga, com destaque para os resultados obtidos com *C. fumosorosea* (Conceschi, 2017). Em estudos de laboratório, *C. fumosorosea* demons-

trou alta virulência contra o ácaro e, em condições de campo, a combinação do fungo com acaricidas sintéticos proporcionou resultados interessantes no controle da praga, sugerindo, inclusive, possível sinergismo entre o fungo e os acaricidas sintéticos (Bortoletto, 2024).

Considerações finais

Após exposição de algumas possibilidades de implementação de técnicas de controle biológicos no manejo integrado de ácaros, retornamos ao questionamento inicial do capítulo: “Como é possível implementar estratégias de controle biológico de ácaros na citricultura brasileira?” A resposta é complexa e envolve diversas análises e reflexões, porém necessárias diante de uma sociedade cada vez mais exigente quanto à segurança alimentar e utilização de práticas agrícolas harmoniosas com meio ambiente. Ainda assim, há diversos exemplos de sucesso no uso do controle biológico na citricultura, os quais impulsionam as iniciativas atuais, mesmo em um cenário muitas vezes desfavorável.

A estruturação de programas de controle biológico na citricultura brasileira envolve um esforço coletivo entre pesquisa, desenvolvimento e extensão. É fundamental reconhecer e selecionar as estratégias de controle biológico mais promissoras, para que sejam avaliadas tanto em pequena quanto em larga escala, com a participação ativa dos citricultores e dos técnicos que atuam diretamente na produção.

É uma tarefa árdua, mas que necessita ser cada vez mais fomentada em busca da chamada sustentabilidade da citricultura.

Referências

Alahyane H, El Alaoui A, Abousaid H, Aimrane A, Atibi Y, Oufdou K, El Messoussi S (2019) Biological activity of some native *Bacillus thuringiensis* Berliner strains against *Eutetranychus orientalis* Klein (Acari: Tetranychidae). **Applied Ecology and Environmental Research** 17(2):1967-1979.

Al-Azzazy MM, Alsohim AS, Yoder CE (2020) Biological effects of three bacterial species on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) infesting eggplant under laboratory and greenhouse conditions. **Acarologia** 60(3):587-594.

Alves SB, Tamai MA, Rossi LS, Castiglioni E (2005) *Beauveria bassiana* pathogenicity to the citrus rust mite *Phyllocoptruta oleivora*. **Experimental and Applied Acarology** 37:117-122.

Alves SB, Vieira SA, Rossi-Zalaf LS (2008) Efeito de meios de cultura na virulência de *Hirsutella thompsonii* (Fischer) (Deuteromycetes) para o controle de *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) (Acari: Tenuipalpidae). **Neotropical Entomology** 37:312-320.

Biddinger DJ, Weber DC, Hull LA (2009) Coccinellidae as predators of mites: Stethorini in biological control. **Biological Control** 51:268-283.

Bortoletto J (2024) **Potencial de *Cordyceps javanica* para a integração de medidas de controle do ácaro da leprose dos citros (*Brevipalpus yothersi*) em pomares de laranja.** Dissertação (Mestrado) - Fundo de Defesa da Citricultura, Araraquara.

Chagas RCM (2017) **Influência de *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae) sobre os ácaros-praga *Brevipalpus yothersi* e *Oligonychus ilicis* (Acari: Tenuipalpidae, Tetranychidae) e o predador *Euseius citrifolius* (Acari: Phytoseiidae) em cafeeiro.** Dissertação (Mestrado) - Instituto Biológico, São Paulo.

Conceschi MR (2017) **Parâmetros a serem considerados nas pulverizações do fungo *Isaria fumosorosea* para o manejo de *Diaphorina citri*.** Tese (Doutorado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Costa JF, Matos CH, Oliveira CR, Silva TG, Neto IFL (2017) Functional and numerical responses of *Stethorus tridens* Gordon (Coleoptera: Coccinellidae) preying on *Tetranychus bastosi* Tuttle, Baker & Sales (Acari: Tetranychidae) on physic nut (*Jatropha curcas*). **Biological Control** 111:1-5.

Cutler GC (2013) Insects, insecticides and hormesis: evidence and considerations for study. **Dose-Response** 11:154-177.

Ennes MR (2017) **Diversidade e dinâmica populacional de ácaros em dois sistemas de produção de citros: convencional e de transição para agricultura orgânica.** Dissertação (Mestrado) - Instituto Biológico, São Paulo, 2017.

Fisher FE (1951) An *Entomophthora* attacking citrus red mite. **The Florida Entomologist** 34(3):83-88.

Freitas S, Penny ND (2001) The green lacewings (Neuroptera: Chrysopidae) of Brazilian agro-ecosystems. **Proceedings of the California Academy of Sciences** 52:245-395.

FUNDECITRUS. **Safra de laranja 2023/24 totalizou 307,22 milhões de caixas**. Disponível em: <https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes_relatorios/0424_Fechamento_da_Safra_de_Laranja.pdf> Acesso em: 30 dez. 2024.

Gerson U, Gafni A, Paz Z, Szejnberg A (2008) A tale of three acaropathogenic fungi in Israel: *Hirsutella*, *Meira* and *Acaromyces*. **Experimental and Applied Acarology** 46(1-4):183-194.

Girardi EA, Sola JGP, Scapin MS, Moreira AS, Bassanezi RB, Ayres AJ, Peña L (2021) The perfect match: adjusting high tree density to rootstock vigor for improving cropping and land use efficiency of sweet orange. **Agronomy** 11:2569.

Gomes FG (2024) Brasil sobe no ranking e se torna o 4º maior do mundo em área de limões e limas. **Limão em Foco**. Ano IV, abril de 2024. Disponível em: <https://ccsm.br/wp-content/uploads/2024/04/LIMAO_EM_FOCO_2024_ano4.pdf> Acesso em: 30 dez. 2024.

Hall IM, Hunter DK, Arakawa KY (1971) The effect of the β -exotoxin fraction of *Bacillus thuringiensis* on the citrus red mite. **Journal of Invertebrate Pathology** 18:359-362.

Hesketh PM, Sato ME (2023) Acaricide resistance in predatory mites of the genus *Euseius* (Acari: Phytoseiidae) and predation capacity on *Brevipalpus yothersi* (Acari: Tenuipalpidae). **Crop Protection** 172: 106322.

Hoy MA, Ouyang Y-L (1987) Toxicity of β -exotoxin of *Bacillus thuringiensis* to *Tetranychus pacificus* and *Metaseiulus occidentalis* (Acari: Tetranychidae and Phytoseiidae). **Journal of Economic Entomology** 80:507-511.

Hu J, Wang J, Yu Y, Rao W, Chen F, Wang C, Fan G (2022) Cross-resistance pattern and genetic studies in spirotetramat-resistant citrus red mite, *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae). **Agriculture** 12:737.

IBGE. **Produção de laranja**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/laranja/br>> Acesso em: 30 dez. 2024.

Limayem A, Martin EM, Shankar S (2024) Study on the citrus greening disease: Current challenges and novel therapies. **Microbial Pathogenesis** 192:106688.

Matioli A, Ueckermann E, Oliveira CAL (2002) Some stigmaeid and eupalopsellid mites from citrus orchards in Brazil (Acari: Stigmaeidae and Eupalopsellidae). **International Journal of Acarology** 28(2):99-120.

Miranda MP, Santos FL, Bassanezi RB, Montesino LH, Barbosa JC, Sétamou M (2018) Monitoring methods for *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) on citrus groves with different insecticide application programmes. **Journal of Applied Entomology** 142(1-2):89-96.

Moreira RR, Machado FJ, Lanza FE, Trombin VG, Bassanezi RB, Miranda MP, Barbosa JC, Silva Junior GJ, Behlau F (2022) Impact of diseases and pests on premature fruit drop in sweet orange orchards in São Paulo

04 - AVANÇOS E PERSPECTIVAS PARA INCORPORAÇÃO DO CONTROLE BIOLÓGICO NO MANEJO INTEGRADO DE ÁCAROS

state citrus belt, Brazil. **Pest Management Science** 78(6):2.643-2.656.

Palomares-Pérez M, Contreras-Bermúdez Y, Bravo-Núñez M, Santillán-Galicia MT, Sánchez-González JA, Arredondo-Bernal HC (2021) Natural enemies associated with *Brevipalpus* sp. (Acari: Tenuipalpidae), vector of citrus leprosis. **Journal of Entomological Science** 56(4):577-583.

Paz Z, Gerson U, Szejnberg A (2007) Assaying three new fungi against citrus mites in the laboratory, and a field trial. **BioControl** 52:855-862.

Rasera JB, Silva RF, Mourão Filho FDAA, Delbem ACB, Saraiva AM, Sentelhas PC, Marques PAA (2023) Climate change and citriculture: a bibliometric analysis. **Agronomy** 13(3):723.

Rocha CM, Della Vechia JF, Savi PJ, Omoto C, Andrade DJ (2021) Resistance to spiroadiclofen in *Brevipalpus yothersi* (Acari: Tenuipalpidae) from Brazilian citrus groves: detection, monitoring, and population performance. **Pest Management Science** 77:3099-3106.

Rossi-Zalaf LS, Alves SB (2006) Susceptibility of *Brevipalpus phoenicis* to entomopathogenic fungi. **Experimental and Applied Acarology** 40:37-47.

Rugno GR (2019) **Diversidade de crisopídeos (Neuroptera: Chrysopidae) em sistemas de manejo de pragas dos citros, suscetibilidade a inseticidas e predação de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae)**. Tese (Doutorado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Sato ME, Matioli AL, Mineiro JLC, Queiroz MCV, Chagas RCM, Hesketh PM, Novelli VM (2022) Controle biológico do ácaro-da-leprose (Acari: Tenuipalpidae) em citros com ênfase em ácaros predadores da família *Phytoseiidae* e influência de plantas espontâneas. **Citrus Research & Technology** 43:e1076.

Shaw JG, Beavers JB, Pappas JL, Hampton RB (1969) Suppression of citrus red mites in greenhouses with a noninclusion virus. **Journal of Economic Entomology** 62(5):1154-1156.

Shaw JG, Beavers JB (1970) Introduced infections of viral disease in populations of citrus red mites. **Journal of Economic Entomology** 63(3):850-853.

Silva MZ (2005) **Potencialidade do *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) na predação de ácaros fitófagos na cultura dos citros no estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

Silva MZ, Sato ME, Oliveira CAL, Nicastro RL (2015) Interspecific interactions involving *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) and *Agistemus brasiliensis* (Acari: Stigmaeidae) as predators of *Brevipalpus phoenicis* (Acari: Tenuipalpidae). **Experimental & Applied Acarology** 65:319-329.

Smith KM, Hill GJ, Munger F, Gilmore JE (1959) A suspected virus disease of the citrus red mite *Panonychus citri*. **Nature** 184:70.

Speare AT, Yothers WW (1924) Is there an entomogenous fungus attacking the citrus rust mite in Florida? **Science** 40:41-42.

Van Der Geest LPS, Elliot SL, Breeuwer JAJ, Beerling EAM (2000) Diseases of mites. **Experimental and Applied Acarology** 24:497-560.

Yang X, Shen M, Xiong J, Guo Z (1996) Approaches to enhance the effectiveness of biocontrol of *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae) with *Stethorus punctillum* (Coleoptera: Coccinellidae) in citrus orchards in Guizhou. **Systematic and Applied Acarology** 1:21-27.

05

Utilização de ácaros predadores no controle do ácaro-da-leprose

Daniel Carrillo¹

Jaqueline Franciosi Della Vechia²

Daniel Júnior de Andrade³

Amy L. Roda¹

📍 ¹University of Florida, Tropical Research and Education Center, Homestead, Florida, USA

✉️ dancar@ufl.edu; amyiroda@ufl.edu

📍 ²Fundo de Defesa da Citricultura, Fundecitrus, Araraquara, São Paulo, Brasil

✉️ jaqueline.vechia@fundecitrus.com.br

📍 ³Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (Unesp-FCAV), Jaboticabal, São Paulo, Brasil

✉️ daniel.andrade@unesp.br

Introdução

Determinados ácaros do gênero *Brevipalpus* são capazes de transmitir vírus causadores de doenças em plantas, conhecidos como vírus transmitidos por *Brevipalpus* (VTBs). Trata-se de vírus de RNA de fita simples pertencentes às famílias Kitaviridae (gêneros *Cilevirus* e *Higrevirus*) e Rhabdoviridae (gênero *Dichorhavirus*), transmitidos exclusivamente por ácaros *Brevipalpus* spp., também conhecidos como ácaros-planos (Dietzgen et al., 2018). Entre os ácaros-planos, destaca-se a espécie *Brevipalpus yothersi* Baker, 1949 (Acari: Tenuipalpidae), devido à sua capacidade de transmitir diversos vírus para as plantas, incluindo determinados vírus causadores da leprose dos citros: *Citrus leprosis virus C* (CiLV-C, *Cilevirus*) e *Citrus leprosis virus C2* (CiLV-C2, *Cilevirus*, estirpe “Colombiana”), uma das doenças mais destrutivas da citricultura (Moreira et al., 2022; Ramos-González et al., 2023).

Recentemente, três dos sete vírus conhecidos por causar a leprose dos citros foram encontrados infectando plantas ornamentais na Flórida e hibiscos na Califórnia, além de maracujás e citros no Havaí (Melzer et al., 2012; Roy et al., 2013; Olmedo-Velarde et al., 2021 a,b; Fife et al., 2021; Alvarez-Quinto et al., 2022; Dey et al., 2022). Uma cepa de CiLV-C2 foi detectada recentemente nos EUA associada a *B. yothersi*, sendo necessária a implementação de medidas de manejo para mitigar os prejuízos causados (Revynti et al., 2019).

O manejo da leprose dos citros na maioria das áreas está focado no controle do ácaro vetor com acaricidas sintéticos (Della Vechia et al., 2018). No entanto, o uso intensivo de acaricidas é dispendioso e pode levar ao desenvolvimento de resistência, além de causar efeitos adversos em espécies não alvo. O uso de ácaros predadores de ocorrência natural em pomares cítricos pode ser uma alternativa viável para o manejo dessa praga. No Brasil, onde a leprose dos citros está amplamente disseminada, predadores das famílias Phytoseiidae, Stigmaeidae, Tydeidae e outros inimigos naturais têm demonstrado potencial para o controle de *Brevipalpus* spp. (Gravena et al., 1994; Matioli et al., 2002; Silva, 2005; De Vis et al., 2006; Albuquerque e Moraes, 2008; Horn et al., 2011).

Controle biológico de *Brevipalpus* com ácaros predadores

A predação de fases imaturas de *Brevipalpus* spp. por fitoseídeos já foi relatada diversas vezes, incluindo: *Galendromus helveolus* (Chant, 1959) predando *Brevipalpus californicus* (Banks, 1904) (Chen et al., 2006); *Euseius mesembrinus* (Dean, 1957) predando *B. californicus* (Badii et al., 1993); *Euseius citrifolius* Denmark & Muma, 1970 predando *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) (Gravena et al., 1994); *Phytoseiulus macropilis* (Banks, 1904) predando ovos de *B. phoenicis* (Haramoto, 1969). Nos EUA, uma grande diversidade de ácaros predadores já foi identificada em pomares de citros (Denmark e Evans, 2011). No entanto, pouco se sabe sobre o potencial de ácaros predadores em programas de controle biológico direcionados a *Brevipalpus* spp.

Levantamentos realizados em pomares cítricos no sul da Flórida indicaram a presença de diversos ácaros predadores associados a *Brevipalpus* spp., incluindo *Neoseiulus longispinosus* (Evans, 1952), *Neoseiulus californicus* (McGregor, 1954), *Amblyseius largoensis* (Muma, 1955) (Acari: Phytoseiidae) e *Hemicheyletia bakeri* (Ehara, 1962) (Acari: Cheyletidae) (Berto, M., dados não publicados). Espécies de *Neoseiulus* geralmente preferem alimentar-se de tetraniquídeos, mas também podem alimentar-se de pólen e de outros ácaros fitófagos (McMurtry et al., 2013). *Neoseiulus californicus* foi relatado predando ovos e larvas de *B. phoenicis* no Brasil (Silva, 2005). Por outro lado, *N. longispinosus* é um predador de origem asiática e tem sido utilizado em programas de controle biológico de ácaros tetraniquídeos (Rahman et al., 2012; Huyen et al., 2017; Rao et al., 2017). Essa espécie se estabeleceu recentemente em diversas regiões do sul da Flórida (Carrillo et al., 2016).

Amblyseius largoensis é uma espécie cosmopolita e um predador comum em pomares de citros e em outras frutíferas na Flórida. Esse predador tem sido estudado por seu potencial no controle de áca-

ros das famílias Tenuipalpidae, Eriophyidae e Tarsonemidae (Carrillo et al., 2012; Melo et al., 2015). *Hemicheyletia bakeri* foi encontrada em áreas de produção de citros na Flórida em associação com ácaros pragas (Ray e Hoy, 2014). No Havaí, uma espécie relacionada, *Mexechesles hawaiiensis* (Baker, 1949), foi relatada predando estágios móveis de *B. phoenicis* em mamoeiro (*Carica papaya* L.) (Haramoto, 1969).

Argolo et al. (2020) demonstraram que a predação por inimigos naturais pode ser um fator importante na regulação das populações de *B. yothersi* na Flórida. As espécies de Phytoseiidae predaram principalmente imaturos de *B. yothersi* e raramente adultos, enquanto o predador *H. bakeri*, da família Cheyletidae consumiu principalmente ácaros adultos. A preferência por estágios imaturos pelos Phytoseiidae pode estar associada ao menor esforço necessário para capturar a presa, devido ao seu menor tamanho e peso corporal, à alta qualidade nutricional e, em alguns casos, à baixa mobilidade (Carrillo e Peña, 2012). Em contraste, *H. bakeri* demonstrou preferência por adultos de *B. yothersi*. A preferência por estágios adultos também foi relatada para *Hemicheyletia wellsina* (De Leon, 1967), predando ácaros tetraniquídeos (Ray e Hoy, 2014). O comportamento de predação das espécies de Cheyletidae não é bem estudado, mas geralmente essas espécies emboscam os estágios móveis de suas presas (Ray e Hoy, 2014).

É importante destacar que a transmissão dos vírus CiLVs por *B. yothersi* pode ser afetada pela predação direcionada a um estágio específico do desenvolvimento. Os CiLVs não são transmitidos verticalmente das fêmeas para a prole, ou seja, não há transmissão transovariana. Ácaros *Brevipalpus* adquirem e transmitem os CiLVs apenas por meio da alimentação, sendo o estágio larval a fase mais eficiente na transmissão (Tassi et al., 2017). Portan-

to, programas de controle biológico direcionados ao estágio larval podem ter um impacto maior na redução da transmissão viral.

Nos experimentos realizados por Argolo et al. (2020), duas espécies de *Neoseiulus* demonstraram maior preferência por *Tetranychus urticae* Koch, 1836 e não consumiram *B. yothersi*. Em contraste, o predador generalista *Amblyseius largoensis* aceitou prontamente e alimentou-se de *B. yothersi*, sendo o mais voraz entre os predadores testados. Além disso, *A. largoensis* suprimiu eficientemente populações de *B. yothersi* em plantas cítricas mantidas em casa de vegetação. A capacidade de *A. largoensis* em controlar *B. yothersi* pode estar relacionada às diferenças em suas taxas de crescimento populacional. *Amblyseius largoensis* possui um ciclo de vida significativamente mais curto que *B. yothersi*, completando o desenvolvimento de ovo a adulto em aproximadamente seis dias, enquanto *B. yothersi* requer cerca de 21 dias (Carrillo et al., 2010; Amaral et al., 2018). Tanto o predador quanto a presa apresentam taxas de oviposição semelhantes, variando de 1 a 2 ovos/fêmea/dia (Carrillo et al., 2010; Amaral et al., 2018). Portanto, a taxa de crescimento populacional de *A. largoensis* é significativamente maior do que a taxa de crescimento populacional de *B. yothersi*, sendo esta uma característica desejável para predadores utilizados em programas de controle biológico.

A presença de *A. largoensis* também alterou a distribuição de *B. yothersi* nas plantas. Quando *A. largoensis* estava presente, *B. yothersi* ocupava principalmente o caule principal, enquanto, na ausência dos predadores ou quando apenas *H. bakeri* estava presente, a população de *B. yothersi* foi maior em folhas e ramos secundários. A presença de *H. bakeri* não teve efeito visível sobre as populações de *B. yothersi*. Quando apenas *H. bakeri* foi liberado, as populações de *B. yothersi* foram semelhantes às do controle. Os resultados relatados por Argolo et al. (2020) sugerem que *H. bakeri* não é um predador eficiente de *B. yothersi*, embora apresente a carac-

terística desejável de visar o estágio adulto reprodutivo. Além disso, *H. bakeri* pode ser um predador intraguilda importante, o que requer investigações adicionais.

Outro resultado interessante relatado por Argolo et al. (2020) foi o crescimento populacional exibido por *B. yothersi* em plantas cítricas na ausência de predadores, com densidade média superior a mil indivíduos por folha ao final do experimento (Figura 1). Esses números elevados não haviam sido relatados anteriormente e indicaram que, quando todos os fatores de regulação populacional são excluídos, *B. yothersi* pode formar grandes populações, chegando inclusive a causar danos diretos. Essa capacidade de formar grandes populações foi interrompida pela presença de *A. largoensis*, demonstrando que a predação por inimigos naturais pode ser um fator importante na regulação das populações de *B. yothersi*.

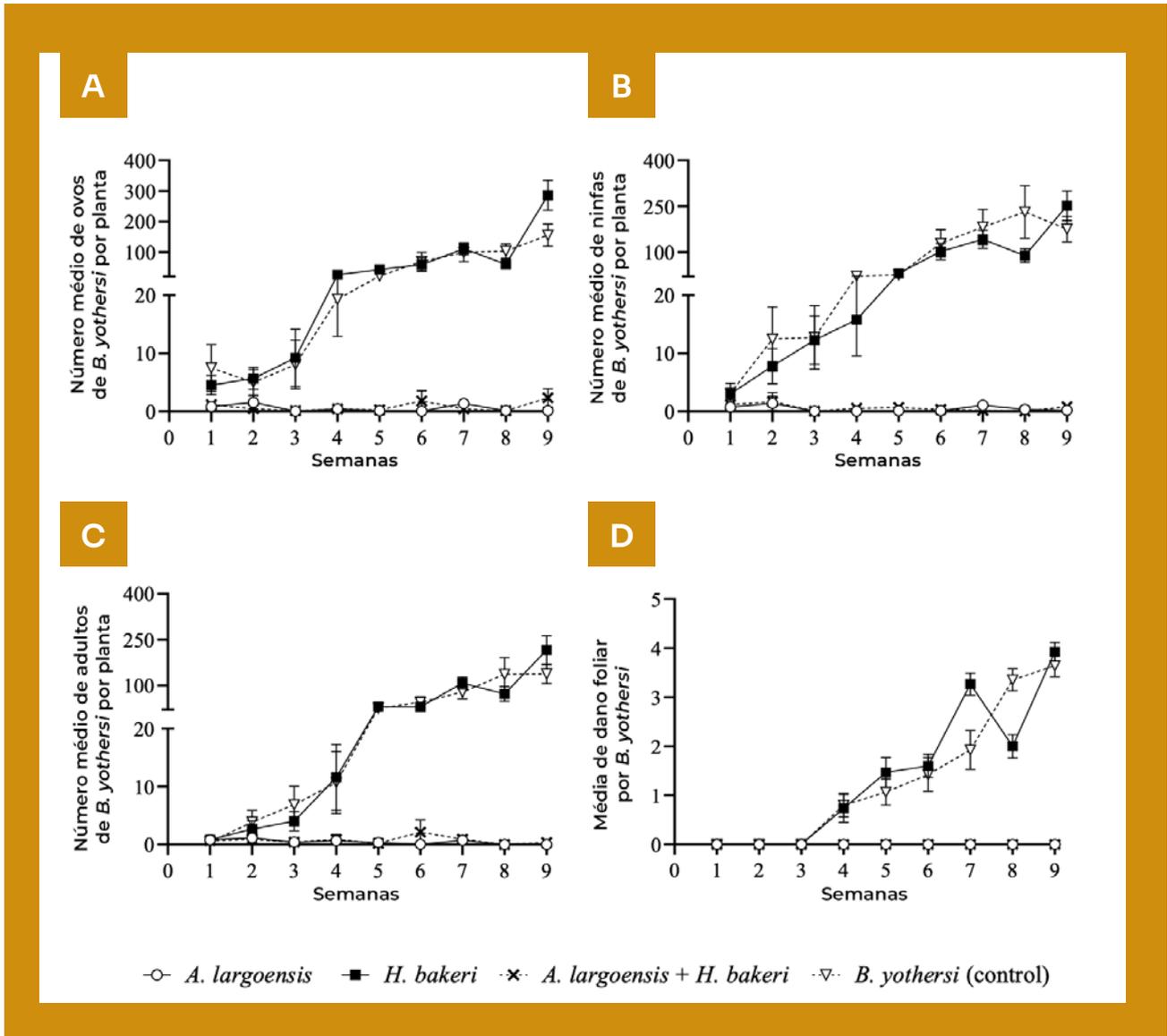


Figura 4

Número médio (\pm EP) de ovos (A), ninfas (B) e adultos (C) vivos de *Brevipalpus yothersi*, e (D) nível médio de sintomas em folhas de citros causados por *B. yothersi* após a liberação de *Amblyseius largoensis*, *Hemicheyletia bakeri* ou da combinação de ambos (*A. largoensis* + *H. bakeri*) em plantas cítricas. Os predadores foram liberados 42 dias após a infestação das plantas com *B. yothersi*. Extraído de Argolo et al. (2020).

Amblyseius largoensis é provavelmente um dos inimigos naturais mais importantes de *B. yothersi* no sul da Flórida e um bom candidato para uso futuro em programas de controle biológico. Outros fatores bióticos (como mudanças na qualidade e fenologia da planta hospedeira ou associações com vírus) ou abióticos (como umidade, precipitação e temperatura) também podem regular as populações de *B. yothersi* em condições naturais de campo. Estudos abrangentes tornam-se necessários para compreender melhor quais fatores influenciam a dinâmica populacional de *B. yothersi*.

Estratégias de controle biológico aumentativo e conservacionista envolvendo o predador *A. largoensis* podem ser exploradas. Uma preocupação especial é a integração do uso de inimigos naturais no sistema

citrícola. Nos países onde a leprose dos citros está presente, os esforços de manejo se concentram na detecção do vetor, seguida de rigoroso controle químico (Andrade et al., 2018; Della Vechia et al., 2018). Embora existam informações sobre o efeito de diferentes acaricidas e/ou inseticidas contra *B. yothersi*, pouco se sabe sobre seus efeitos em organismos não alvo. Diversos acaricidas foram avaliados em campo ou laboratório no controle de *B. yothersi* e seus predadores associados, principalmente fitoseídeos e estigmeídeos, com a maioria apresentando efeitos prejudiciais sobre os predadores (Silva et al., 2009; Andrade et al., 2010; Silva et al., 2011). Identificar pesticidas seletivos que controlem *B. yothersi* com impacto mínimo sobre os inimigos naturais seria um componente essencial de um programa de manejo integrado de pragas (MIP).

Compatibilidade entre o controle biológico e o químico

Della Vechia et al. (2023) investigaram diferentes vias de exposição de *A. largoensis* a acaricidas, incluindo contato direto, ingestão de presas contaminadas por pesticidas, contato residual e exposição combinada. Um acaricida classificado como inócuo (ciflumetofem) e três classificados como levemente prejudiciais (abamectina, fenpiroximato e espirodiclofeno) foram testados para avaliar os efeitos dessas diferentes vias de exposição sobre *A. largoensis* (Figura 2). O ciflumetofem demonstrou toxicidade baixa a moderada sobre *A. largoensis*, independentemente da via de exposição. A literatura disponível sugere que o ciflumetofem tem baixo impacto por contato direto e residual sobre diversos fitoseídeos, incluindo *Neoseiulus fallacis* (Garman, 1948), *N. californicus*, *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot, 1957, *Amblyseius eharai* Amitai e Swirski, 1981, *Amblyseius tsugawai* Ehara, 1959, *Euseius sojaensis* (Ehara, 1964) e *Typhlodromus vulgaris* (Ehara, 1959) (Lee e Kim, 2015; Kishimoto et al., 2018; Bergeron e Schmidt-Jeffris, 2020).

O fenpiroximato foi relatado como seletivo para populações do fitoseídeo *A. largoensis* em coqueiros (Barros et al., 2022) e para outros fitoseídeos em diferentes sistemas (Kim e Paik, 1996; Ghasemzadeh e Qhreshi, 2018). No entanto, essa seletividade pode variar conforme a via de exposição. O contato direto, a alimentação de presas contaminadas com fenpiroximato e a exposição combinada foram altamente tóxicos para *A. largoensis* (61,1% a 100,0% de mortalidade). Surpreendentemente, o contato residual com fenpiroximato foi apenas levemente prejudicial (47,1% de mortalidade). De forma semelhante, Sato et al. (2002) registraram alta sobrevivência do ácaro predador *N. californicus* liberados em folhas contaminadas com fenpiroximato. Por outro lado, o contato direto com fenpiroximato resultou em 100% de mortalidade do ácaro predador *Galendromus occidentalis* (Nesbitt, 1951) (Irigaray e Zalom, 2007). Essas diferenças de toxicidade entre as vias de exposição ao fenpiroximato podem estar relacionadas à quantidade de pesticida absorvida pelos predadores (Van Leeuwen e Dermauw, 2016). A maior toxicidade do fenpiroximato por exposição direta sugere um papel importante da absorção cuticular desse pesticida por *A. largoensis*.

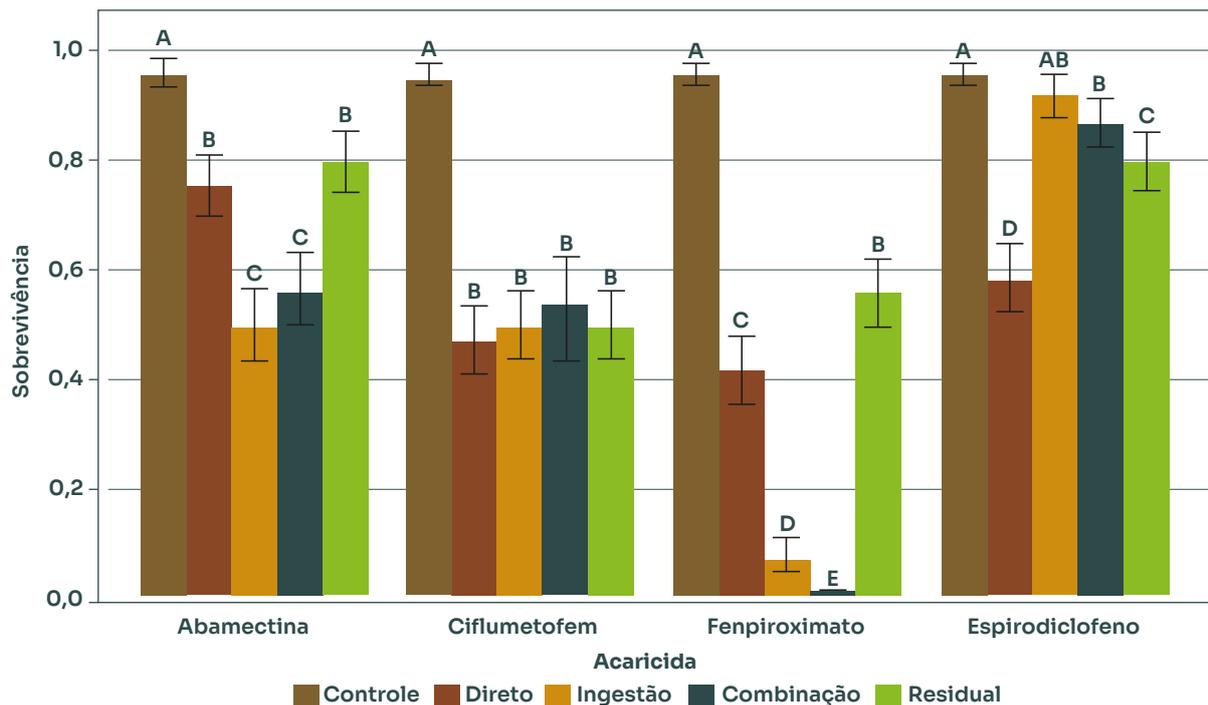


Figura 2

Sobrevivência média do ácaro predador *Amblyseius largoensis* cinco dias após a exposição a quatro acaricidas por diferentes vias: contato direto (Direto), ingestão de presas contaminadas com acaricida (Ingestão), combinação de vias de exposição direto, residual e ingestão (Combinação). As barras de erro representam intervalos de confiança de 95%. Dentro de cada acaricida, barras que compartilham letras iguais não são diferentes entre si. Extraído de Della Vecchia et al. (2023).

A abamectina foi levemente prejudicial a *A. largoensis* por contato residual ou direto. No entanto, a alimentação de presas contaminadas com abamectina foi mais prejudicial, embora ainda tenha permitido a sobrevivência de mais de 50% das populações do predador. A abamectina é considerada prejudicial a ácaros predadores da família Phytoseiidae (Fernández et al., 2017). No entanto, na Flórida, a abamectina é comumente utilizada na produção de citros e outras frutíferas tropicais e subtropicais. Assim, as populações de *A. largoensis* podem ter exposição repetida a esse pesticida e possivelmente desenvolvido alguma tolerância ou resistência. Nossos resultados sugerem que *A. largoensis* pode sobreviver em plantas tratadas com abamectina ou colonizar plantas recentemente tratadas com esse pesticida. Além disso, a liberação de *A. largoensis* após aplicações de abamectina pode ajudar a manter

as populações de *B. yothersi* suprimidas por um período mais longo do que quando o pesticida é utilizado isoladamente.

O espirodiclofeno mostrou baixa toxicidade para *A. largoensis*, independentemente da via de exposição, corroborando os resultados obtidos por Assis et al. (2013) em populações de predadores associadas a outro ácaro praga tenuipalpeo, o *Raoiella indica* Hirst, 1924 (Acari: Tenuipalpidae). Outras espécies de fitoseiídeos, tais como *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot e *N. californicus* também apresentaram tolerância ao espirodiclofeno (Kaplan et al., 2012). Os resultados sugerem que o espirodiclofeno é compatível com *A. largoensis* e útil no manejo integrado de *B. yothersi*, pois controla eficientemente o ácaro praga e apresen-

ta baixa toxicidade para seu agente de biocontrole. No entanto, o contato direto com espiroclorfenol resultou em mortalidade significativamente maior do que a ingestão de presas contaminadas ou a exposição combinada, sugerindo que enzimas de detoxificação ou outros mecanismos desconhecidos podem estar presentes em *A. largoensis*.

Em um experimento conduzido em casa de vegetação para a avaliação de acaricidas isolados ou em combinação com ácaros predadores, bem como dos predadores isoladamente no controle de *B. yothersi*, verificou-se que a abamectina isolada apresentou o menor período de controle entre os acaricidas avaliados (aproximadamente 30 dias). No entanto, a combinação de abamectina com *A. largoensis* proporcionou controle mais prolongado da praga, resultando em redução populacional de 99,9% de *B. yothersi* (Della Vecchia et al., 2023).

Plantas tratadas com fenpiroximato em combinação com *A. largoensis* apresentaram menor densidade populacional do ácaro aos 104 dias após a aplicação (DAA) do que aquelas tratadas apenas com o acaricida. Os resultados indicaram que *A. largoensis* pode melhorar o controle de *B. yothersi* após aplicações de abamectina e fenpiroximato. Todos os outros acaricidas foram altamente eficientes e proporcionaram controle prolongado de *B. yothersi* ao longo do experimento, mas prejudicaram o controle biológico por *A. largoensis*, provavelmente devido à ausência de presas.

Em plantas onde *A. largoensis* foi liberado sem exposição a acaricidas, o predador inicialmente suprimiu *B. yothersi*, porém após 62 dias a população da praga aumentou. Esse resultado sugere que liberações periódicas podem ser necessárias para um controle biológico eficiente e prolongado por esse ácaro predador. Outra explicação reside nas condições controladas do experimento, portanto sem acesso a presas alternativas. Em condições naturais, *A. largoensis* utiliza múltiplas presas, incluindo outros ácaros e insetos.

Esse predador é classificado como um ácaro fitoseídeo generalista do tipo III, que se alimenta de insetos e ácaros, bem como de fontes alimentares alternativas, como pólen e néctar, permitindo sua sobrevivência no campo mesmo quando as populações da praga estão baixas (Carrillo e Peña, 2012). A presença de presas alternativas ou o fornecimento de alimentos alternativos, como, por exemplo, pólen pode desempenhar um papel importante na capacidade de *A. largoensis* de persistir em plantas cítricas e proporcionar a supressão de *B. yothersi* a longo prazo.

Os resultados da pesquisa destacaram o potencial para aumentar a seletividade dos acaricidas em relação a *A. largoensis* manipulando a forma como os predadores são expostos a esses produtos. Por exemplo, o contato direto e residual com abamectina teve pouco efeito sobre *A. largoensis*; portanto, o predador pode ser liberado antes ou depois das aplicações desse pesticida. Em contraste, o contato direto foi a via de exposição mais prejudicial para *A. largoensis* no caso do espiroclorfenol; portanto, as liberações do predador devem ser realizadas após as aplicações desse acaricida. Além disso, o contato residual com fenpiroximato foi ligeiramente prejudicial para *A. largoensis*, sugerindo que os predadores podem ser liberados com segurança após a aplicação desse produto. A via de exposição parece ser menos relevante no caso do ciflumetofem, que foi moderadamente prejudicial a *A. largoensis* em todas as vias de exposição.

Considerações finais

A escassez de acaricidas sintéticos atualmente disponíveis no mercado, associada aos diversos casos de resistência de populações de *Brevipalpus* a esses produtos, evidencia a necessidade de integração do controle biológico ao manejo desses ácaros. As informações apresentadas neste capítulo fornecem subsídios para o desenvolvimento de estratégias de controle biológico em áreas infestadas por *B. yothersi* e pelos vírus associados.

Neste contexto, foram discutidos resultados referentes a ácaros predadores com potencial para o controle de *Brevipalpus*, bem como a compatibilidade desses organismos com o uso de acaricidas.

Referências

- Albuquerque FA, Moraes GJ (2008) Perspectivas para a criação massal de *Iphiseiodes zuluagai* Denmark e Muma (Acari: Phytoseiidae). **Neotropical Entomology** 37:328-333.
- Alvarez-Quinto RA, Grinstead S, Rott P, Mollov D (2022) Genome characterization and complete sequence of a new badnavirus from *Pandanus amaryllifolius*. **Archives of Virology** 167:1717-1720.
- Amaral I, Moraes GJ, Melville CC, Andrade DJ (2018) Factors affecting prevailing population levels of *Brevipalpus yothersi* (Acari: Tenuipalpidae) in citrus areas affected by citrus leprosis in the State of São Paulo, Brazil. **Experimental and Applied Acarology** 74:395-402.
- Andrade DJ, Oliveira CAL, Santos NC, Morais MR (2010) Toxicidade diferencial de produtos à base de abamectina ao ácaro *Brevipalpus phoenicis* em citros. **Revista Brasileira de Fruticultura** 32:82-89.
- Andrade DJ, Lorençon JR, Siqueira DS, Novelli VM, Bassanezi RB (2018) Space-time variability of citrus leprosis as strategic planning for crop management. **Pest Management Science** 74:1798-1803.
- Assis CPO, Morais EGF, Gondim MGC Jr (2013) Toxicity of acaricides to *Raoiella indica* and their selectivity for its predator, *Amblyseius largoensis* (Acari: Tenuipalpidae: Phytoseiidae). **Experimental and Applied Acarology** 60:357-365.
- Badii MH, Hernández E, Flores S (1993) Respuesta funcional de *Euseius mesembrinus* (Dean) en función de la densidad de *Brevipalpus californicus* (Banks) (Acari: Phytoseiidae, Tenuipalpidae). **Southwestern Entomologist** 18:301-304.
- Barros MEN, Silva FB, Sousa-Neto EP, Bisneto MCR, Lima DL, Melo JWS (2022) Acaricide-impaired functional and numerical responses of the predatory mite, *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) to the pest mite *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). **Systematic and Applied Acarology** 27:33-44.
- Bergeron PE, Schmidt-Jeffris RA (2020) Not all predators are equal: miticide non-target effects and differential selectivity. **Pest Management Science** 76:2170-2179.
- Carrillo D, Honey S, Rios L, Duncan R, Peña JE (2016) Mites associated with *Carica papaya* in Florida. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society** 129:25-26.
- Carrillo D, Peña JE, Hoy MA, Frank JH (2010) Development and reproduction of *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) feeding on pollen, *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae), and other microarthropods inhabiting coconuts in Florida, USA. **Experimental and Applied Acarology** 52:119-129.
- Carrillo D, Peña JE (2012) Prey-stage preferences and functional and numerical responses of *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) to *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). **Experimental and Applied Acarology** 57:361-372.
- Chen TY, French JV, Liu TX, Graça JV (2006) Predation of *Galendromus helveolus* (Acari: Phytoseiidae) on *Brevipalpus californicus* (Acari: Tenuipalpidae). **Biocontrol Science and Technology** 16:753-759.

05 - UTILIZAÇÃO DE ÁCAROS PREDADORES NO CONTROLE DO ÁCARO-DA-LEPROSE

De Vis RMJ, Moraes GJ, Bellini MR (2006) Initial screening of little known predatory mites in Brazil as potential pest control agents. **Experimental and Applied Acarology** 39:115.

Della Vechia JF, Andrade DJ, Tassi AD, Roda A, Van Santen E, Carrillo D (2023) Can predatory mites aid in the management of the citrus leprosis mite? **Frontiers in Agronomy** 5:1304656.

Della Vechia JF, Ferreira MC, Andrade DJ (2018) Interaction of spiroadiclofen with insecticides for the control of *Brevipalpus yothersi* in citrus. **Pest Management Science** 74:2438-2443.

Denmark HA, Evans GA (2011) Phytoseiidae of North America and Hawaii (Acari: Mesostigmata). **West Bloomfield, Michigan, USA, Indira Publishing House** 451 p.

Dey KK, Vélez-Climent M, Padmanabhan C, Nunziata S, Rivera Y, McVay J, Roy A (2022) *Smilax auriculata*: A new host for orchid fleck dichorhavirus identified in Florida, USA. **Plant Disease** 106:2271.

Dietzgen RG, Freitas-Astúa J, Chabi-Jesus C, Ramos-González PL, Goodin MM, Kondo H, Tassi AD, Kitajima EW (2018) Dichorhaviruses in their host plants and mite vectors. **Advances in Virus Research** 102:119-148.

Fernández MM, Medina P, Wanumen A, Del Estal P, Smagghe G, Viñuela E (2017) Compatibility of sulfoxaflor and other modern pesticides with adults of the predatory mite *Amblyseius swirskii*. Residual contact and persistence studies. **BioControl** 62:197-208.

Fife A, Carrillo D, Knox G, Iriarte F, Dey K, Roy A, Ochoa R, Bauchan G, Paret M, Martini X (2021) *Brevipalpus*-transmitted orchid fleck virus infecting three new ornamental hosts in Florida. **Journal of Integrated Pest Management** 12:43.

Ghasemzadeh S, Qhreshi JA (2018) Demographic analysis of fenpyroximate and thiacloprid exposed predatory mite *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae). **PLoS One** 13(11):e0206030.

Gravena S, Benetoli I, Moreira PHR, Yamamoto PT (1994) *Euseius citrifolius* Denmark and Muma predation on citrus leprosis mite *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) (Acari: Phytoseiidae: Tenuipalpidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil** 23:209-218.

Haramoto FH (1969) Biology and control of *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) (Acarina: Tenuipalpidae). **Technical Bulletin, Hawaii Agricultural Experiment Station** 68:1-63.

Horn TB, Johann L, Ferla NJ (2011) Ecological interactions between phytophagous and predaceous mites in citrus agroecosystems in Taquari Valley, Rio Grande do Sul, Brazil. **Systematic and Applied Acarology** 16:133-144.

Huyen LT, Tung ND, Lan DH, Chi CV, Clercq PD, Van Dinh N (2017) Life table parameters and development of *Neoseiulus longispinosus* (Acari: Phytoseiidae) reared on citrus red mite, *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae) at different temperatures. **Systematic and Applied Acarology** 22:1316-1326.

Irigaray FJSDC, Zalom FG (2007) Selectivity of acaricide exposure on *Galendromus occidentalis* reproductive potential. **Biocontrol Science and Technology** 17:541-546.

Kaplan P, Yorulmaz S, Ay R (2012) Toxicity of insecticides and acaricides to the predatory mite *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae). **International Journal of Acarology** 38:699-705.

Kim SS, Paik CH (1996) Comparative toxicity of fenpyroximate to the predatory mite, *Amblyseius womersleyi* Schicha and the kanzawa spider mite, *Tetranychus kanzawai* Kishida (Acarina: Tetranychidae, Phytoseiidae). **Applied Entomology and Zoology** 31:369-377.

Kishimoto H, Yaginuma K, Toyama M (2018) Effects of pesticides on four native generalist phytoseiid species (Acari: Phytoseiidae). **Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology** 62:29-39.

Lee SM, Kim SS (2015) Susceptibility of the predatory mite, *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) to acaricides. **Korean Journal of Pesticide Science** 19:418-423.

Matioli A, Ueckermann E, Oliveira CAL (2002) Some stigmatiid and eupalopsellid mites from citrus orchards in Brazil (Acari: Stigmatiidae and Eupalopsellidae). **International Journal of Acarology** 28(2):99-120.

McMurtry JA, Moraes GJ, Sourassou NF (2013) Revision of the lifestyles of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) and implications for biological control strategies. **Systematic and Applied Acarology** 18(4):297-320.

Melo JWS, Lima DB, Staudacher HR, Silva FR, Gondim Jr MGC, Sabelis MW (2015) Evidence of *Amblyseius largoensis* and *Euseius alatus* as biological control agents of *Aceria guerreronis*. **Experimental and Applied Acarology** 67:411-421.

Melzer MJ, Sether DM, Borth WB, Hu JS (2012) Characterization of a virus infecting *Citrus volkameriana* with citrus leprosis-like symptoms. **Phytopathology** 102:122-127.

Moreira RR, Machado FJ, Lanza FE, Trombin VG, Bassanezi RB, De Miranda MP, Barbosa JC, Da Silva Junior GJ, Behlau F (2022) Impact of diseases and pests on premature fruit drop in sweet orange orchards in São Paulo state citrus belt, Brazil. **Pest Management Science** 78(6):2643-2656.

Olmedo-Velarde A, Hu J, Melzer MJ (2021b) A virus infecting *Hibiscus rosa-sinensis* represents an evolutionary link between cileviruses and higreviruses. **Frontiers in Microbiology** 12:660237.

Olmedo-Velarde A, Roy A, Padmanabhan C, Nunziata S, Nakhla MK, Melzer MJ (2021a) First report of orchid fleck virus associated with citrus leprosis symptoms in rough lemon (*Citrus jambhiri*) and mandarin (*Citrus reticulata*) in the United States. **Plant Disease** 105:2258.

Peña JE, Santos K, Baez I, Carrillo D (2015) Physical post-harvest techniques as potential quarantine treatments against *Brevipalpus yothersi* (Acarina: Tenuipalpidae). **Florida Entomologist** 98(4):1169-1174.

Rahman VJ, Babu A, Roobakkumar A, Perumalsamy K (2012) Functional and numerical responses of the predatory mite, *Neoseiulus longispinosus*, to the red spider mite, *Oligonychus coffeae*, infesting tea. **Journal of Insect Science** 12:125.

Ramos-González PL, Arena GD, Tassi AD, Chabi-Jesus C, Kitajima EW, Freitas-Astúa J (2023) Kitaviruses: A

05 - UTILIZAÇÃO DE ÁCAROS PREDADORES NO CONTROLE DO ÁCARO-DA-LEPROSE

window to atypical plant viruses causing nonsystemic diseases. **Annual Review of Phytopathology** 61.

Rao KS, Vishnupriya R, Ramaraju K (2017) Evaluation of the predaceous mite, *Neoseiulus longispinosus* (Evans) (Acari: Phytoseiidae) as a predator of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). **Research Journal of Agricultural Sciences** 9(3):473-479.

Ray HA, Hoy MA (2014) Evaluation of the predacious mite *Hemicheyletia wellsina* (Acari: Cheyletidae) as a predator of arthropod pests of orchids. **Experimental and Applied Acarology** 64:287-298.

Revynti AM, Peña JE, Moreno JM, Beam AL, Mannion C, Bailey WD, Carrillo D (2019) Effectiveness of hot-water immersion against *Brevipalpus yothersi* (Acari: Tenuipalpidae) as a postharvest treatment for lemons. **Journal of Economic Entomology** 113(1):126-133.

Roy A, Choudhary N, Guillermo LM, Shao J, Govindarajulu A, Achor D, Wei G, Picton DD, Levy L, Nakhla MK, Hartung JS (2013) A novel virus of the genus *Cilevirus* causing symptoms similar to citrus leprosis. **Phytopathology** 103:488-500.

Sato ME, Da Silva M, Gonçalves LR, De Souza Filho MF, Raga A (2002) Differential toxicity of pesticides to *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) and *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) on strawberry. **Neotropical Entomology** 31:449-456.

Silva MZ (2005) **Potencialidade do *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) na predação de ácaros fitófagos na cultura dos citros no estado de São Paulo**. 79f. Dissertação, Universidade Estadual Paulista (UNESP).

Silva MZ, Oliveira CAL, Sato ME (2009) Seletividade de produtos fitossanitários sobre o ácaro predador *Agistemus brasiliensis* Mantioli, Ueckermann & Oliveira (Acari: Stigmaeidae). **Revista Brasileira de Fruticultura** 31:388-396.

Silva MZ, Sato ME, Oliveira CAL, Rais DS (2011) Toxicidade diferencial de agrotóxicos utilizados em citros para *Neoseiulus californicus*, *Euseius concordis* e *Brevipalpus phoenicis*. **Bragantia** 70:87-95.

Tassi AD, Garita-Salazar LC, Amorim L, Novelli VM, Freitas-Astúa J, Childers CC, Kitajima EW (2017) Virus-vector relationship in the citrus leprosis pathosystem. **Experimental and Applied Acarology** 71:227-241.

Van Leeuwen T, Dermauw W (2016) The molecular evolution of xenobiotic metabolism and resistance in chelicerate mites. **Annual Review of Entomology** 61:475-498.

06

Tecnologia no uso de ácaros predadores resistentes a agrotóxicos

Mário Eidi Sato

 Instituto Biológico (IB), Campinas-SP

 mario.sato@sp.gov.br

Introdução

O uso de ácaros predadores resistentes a agrotóxicos pode representar uma inovação importante para o manejo integrado de pragas (MIP). Essa abordagem procura combinar controle biológico e químico de forma sustentável, promovendo o equilíbrio ecológico e reduzindo os impactos ambientais (Hoy, 1990; Inak e Salman, 2020).

A citricultura brasileira enfrenta problemas significativos com pragas, tais como o psílídeo dos citros, *Diaphorina citri* Kuwayama, 1908 (Hemiptera: Psyllidae), vetor da bactéria *Candidatus Liberibacter asiaticus*, agente causal do HLB (Huanglongbing) (Ammar et al., 2016; Canale et al., 2017; Fundecitrus, 2024), e o ácaro-da-leprose, *Brevipalpus yothersi* Baker (Acari: Tenuipalpidae), vetor do vírus da leprose dos citros (CiLV-C) no Brasil (Amaral et al., 2018; Mineiro et al., 2018; Bassanezi, 2019; Chabi-Jesus et al., 2021; Tassi et al., 2022).

A principal estratégia de manejo do HLB (Fundecitrus, 2024), assim como da leprose dos citros (Della Vechia et al., 2022), tem sido a aplicação frequente de agrotóxicos para o controle dos artrópodes vetores, que pode causar uma série de problemas, incluindo o desequilíbrio biológico nos pomares, com elevada mortalidade de inimigos naturais e outros organismos benéficos (ex.: polinizadores), o aumento no custo de produção e a seleção de

populações de pragas resistentes aos principais inseticidas e acaricidas utilizados na cultura no Brasil (Omoto et al., 2000; IRAC-BR, 2013; Bassanezi, 2018). No caso do ácaro-da-leprose, o baixo número de ingredientes ativos eficientes para o controle do ácaro e as aplicações frequentes de inseticidas-acaricidas têm favorecido a seleção de populações resistentes a acaricidas (Rocha et al., 2021), dificultando significativamente o manejo do ácaro praga.

Principais ácaros predadores em citros

Dentre os ácaros predadores presentes em citros, aqueles pertencentes à família Phytoseiidae são considerados os mais importantes, devido ao seu potencial como agente regulador de populações de ácaros fitófagos (McMurtry, 1977; Helle e Sabelis, 1985; McMurtry e Croft, 1997) e pequenos insetos, como moscas brancas, tripses e psílídeos (Van Houten et al., 2008).

Os ácaros fitoseídeos (Acari: Phytoseiidae) das espécies *Iphiseiodes zuluagai* Denmark e Muma, 1972, *Euseius citrifolius* Denmark e Muma, 1970 e *Euseius concordis* (Chant, 1959) (Sato et al., 1994; Moraes et al., 2004; Albuquerque, 2006) são os mais frequentes em pomares cítricos no Brasil. Algumas outras espécies de ácaros predadores da família Phytoseiidae, tais como *Neoseiulus californicus* (McGregor, 1954) e *Amblyseius largoensis* (Muma, 1955), também são referidas como espécies com potencial para serem utilizadas em programas de controle biológico de ácaros pragas em citros, principalmente do ácaro-da-leprose (Silva, 2009; Argolo et al., 2020). Algumas espécies de ácaros predadores generalistas, como *Amblydromalus limonicus* (Garman e McGregor, 1956), também podem ser

úteis para a redução populacional de diversas outras espécies de ácaros e insetos pragas, incluindo, cochonilhas, mosca-negra-dos-citros, *Aleurocanthus woglumi* Ashby, 1915 (Hemiptera: Aleyrodidae), e psílídeos transmissores do HLB (Van Houten et al., 2008; Xu e Zhang, 2015; Sikorski, 2024).

Apesar da presença de diversas espécies de ácaros e insetos predadores nos pomares cítricos, o uso frequente de inseticidas e acaricidas para o controle de pragas limita o desempenho desses agentes de controle biológico (Sato et al., 1994, Silva, 2009), podendo afetar a sobrevivência, a reprodução e o comportamento de predação desses organismos no campo (Sato et al., 1996; Inak e Salman, 2020).

Uma das possibilidades de reduzir os impactos negativos desses produtos químicos sobre o desempenho dos inimigos naturais seria a introdução de espécies ou linhagens de predadores resistentes aos agrotóxicos mais utilizados (Hoy, 1990; Hesketh e Sato, 2023) em citros e outros cultivos agrícolas.

Resistência de ácaros da família Phytoseiidae a pesticidas

Embora a resistência a inseticidas e acaricidas não seja frequente em inimigos naturais, atualmente são conhecidos diversos casos de resistência em ácaros predadores desta família (Hoy, 1990; Sato et al., 2001; Queiroz e Sato, 2016; Hesketh e Sato, 2023). Os ácaros fitoseídeos apresentam taxas reprodutivas elevadas, pseudo-arrenotoquia, exibem características de migração e atributos de colonização que favorecem a evolução da resistência a agrotóxicos (Croft e Van de Baan, 1988). Além disso, os fitoseídeos são abundantes em quase todos os cultivos agrícolas, apresentam um ciclo biológico curto, sendo que, para a maioria das espécies o período de desenvolvimento de ovo a adulto é de aproximadamente uma semana (Hoy, 1985).

A resistência a inseticidas e acaricidas tem sido documentada em populações nativas de ácaros predadores da família Phytoseiidae, principalmente das espécies *Neoseiulus fallacis* (Garman, 1948), *Galendromus occidentalis* (Nesbitt, 1951), *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot, 1957 e *Typhlodromus pyri* Scheuten, 1857 (Roush e Hoy, 1981; Strickler e Croft, 1982; Croft e Strickler, 1983; Hoy, 1985; 1990; Vidal e Kreiter, 1995; Hoy et al., 2013; Benavent-Albarracin et al., 2020; Inak e Salman, 2020).

A utilização de ácaros predadores resistentes a agrotóxicos tem contribuído para o aprimoramento dos programas de manejo integrado de pragas, minimi-

zando o impacto da aplicação dos agrotóxicos sobre esses inimigos naturais, com redução na frequência de aplicação e no custo de produção, além de contribuir para a redução no número de casos de resistência de pragas aos principais agrotóxicos (FAO, 1984; Ghazy et al., 2016).

Programas de manejo integrado de pragas têm utilizado populações de fitoseídeos resistentes a agrotóxicos, evoluídas em campo ou selecionadas em laboratório (Hoy, 1990; Sato et al., 2001; Benavent-Albarracín et al., 2020). A introdução de ácaros fitoseídeos, cuja resistência a inseticidas-acaricidas foi desenvolvida em campo, para novas regiões geográficas tem frequentemente resultado em um controle biológico efetivo da praga alvo (Croft e Barnes, 1972; Field, 1978), sendo uma forma análoga ao controle biológico clássico, porém utilizando um biótipo diferenciado de inimigo natural (Dunley et al., 1991). Segundo Blommers (1994), a descoberta de populações de *T. pyri* resistentes a vários inseticidas organofosforados e carbamatos, favoreceu muito o uso prático desses predadores em programas de manejo integrado de pragas, em pomares de maçã, na Europa, sendo que, o ácaro predador tem realizado um controle efetivo de *Panonychus ulmi* (Koch, 1836) (Acari: Tetranychidae) e *Aculus schelechtendali* (Nalepa, 1890) (Acari: Eriophyidae) nessa cultura. Este sistema, utilizando ácaros predadores resistentes a inseticidas, foi adotado por produtores de maçã de diversos países da Europa, incluindo Alemanha, Áustria, Holanda, Itália, Polônia, Reino Unido e Suíça (Blommers, 1994).

Hoy (1985) propôs um programa de manejo de ácaros na cultura de amêndoas (Califórnia/EUA), baseando-se na liberação de linhagens de *G. occidentalis* resistentes a inseticidas, associada à utilização de acaricidas seletivos. Uma economia de aproximadamente 60 a 110 dólares/ha/ano foi estimada para cada produtor de amêndoa que aderiu ao programa de liberação dos ácaros predadores resistentes, principalmente devido à redução nos custos com aplicação de acaricidas.

No caso de citros, foram observadas diferenças significativas na suscetibilidade a acaricidas entre populações de *E. citrifolius* procedentes de pomares cítricos paulistas com diferentes frequências de aplicação de acaricidas. Foram observadas populações de *E. citrifolius* com razões de resistência de 15,5 e 3,1 (vezes) para abamectina e clorfenapir, respectivamente, comparando-se populações do ácaro predador coletadas nos municípios de Taquaral (R) e Bofete (S), no estado de São Paulo. Populações de *E. concordis* e *E. citrifolius* coletadas em Taquaral-SP, mostraram-se resistentes a piretroides (fenpropatrina), com sobrevivência de pelo menos 50% dos ácaros, mesmo para concentrações 95 vezes acima da concentração recomendada do acaricida para o controle de pragas em diversas culturas no Brasil (Hesketh e Sato, 2023).

Mecanismos de resistência

Entre os principais mecanismos pelos quais os artrópodes podem desenvolver resistência a inseticidas e acaricidas estão: redução da penetração cuticular, alteração na sensibilidade do alvo de ação e aumento no metabolismo (processo de desintoxicação) (Oppenorth, 1985), podendo haver o envolvimento de diferentes grupos de enzimas (Inak e Salman, 2020).

A resistência associada à insensibilidade de acetilcolinesterase (AChE) a organofosforados tem sido observada em diversas espécies de ácaros predadores (Van de Baan et al., 1985; Anber e Overmeer, 1988). Resistência de mais de 145.000 vezes a clorpirifós foi reportada em populações de *Kampimodromus aberrans* (Oudemans, 1930) em vinhedos da Itália (Tirello et al., 2012). Nesse caso, uma mutação com substituição de aminoácidos (G119S) no gene de AChE de *K. aberrans* foi encontrada associada à resistência ao inseticida (Cassanelli et al., 2015).

Com relação à resistência metabólica, aumentos nas atividades de esterases e GST (Glutathione-S-Transferases) foram associados à resistência de *N. fallacis* a organofosforados (Motoyama et al., 1971; Mullin et al., 1982).

No caso de piretroides, estudos utilizando o sinergista DEF (inibidor de esterases), indicaram o envolvimento de esterases na resistência de *N. fallacis* a organofosforados (Scott et al., 1983; Chang e Whalon, 1986). No entanto, no caso de uma linhagem de *Phytoseiulus macropilis* (Banks, 1904) com razão de resistência de 5.348 vezes a fenpropatrina, foi observada apenas uma razão de sinergismo de 5,86 vezes para DEF, indicando que a resistência metabólica não seria suficiente para explicar a elevada magnitude de resistência do ácaro predador ao piretroide, havendo, provavelmente, o envolvimento de outro mecanismo (insensibilidade do alvo de ação) associado a essa resistência (Queiroz e Sato, 2016).

No caso de *Neoseiulus womersleyi* (Schicha, 1975) foi reportado um aumento na atividade de monooxigenases (P450) em uma linhagem resistente a inseticidas (Sato et al., 2006), com provável envolvimento do gene CYP4-d na resistência do ácaro predador (Sato et al., 2007). Mais recentemente, uma análise do transcriptoma de uma linhagem de *Neoseiulus barkeri* Hughes, 1948 resistente a fenpropatrina foi reportada por Cong et al. (2016). De forma semelhante ao estudo de Sato et al. (2007), dois genes CYP4 mostraram-se superexpressos (entre 32,9 e 46,7 vezes) na linhagem de *N. barkeri* resistente a fenpropatrina (Cong et al., 2016).

Embora mais de 50 mutações tenham sido associadas à resistência de artrópodes a piretroides (Dong et al., 2014), o conhecimento de mutações associadas à resistência de ácaros predadores a inseticidas-acaricidas é muito limitado. Duas substituições de aminoácidos, E1233G e S1282G, nas regiões ligantes entre os domínios II e III dos canais de sódio foram relatados em uma linhagem de *N. barkeri* resistente a piretroides (Cong et al., 2016). Além disso, mutações em canais de sódio também foram associadas à resistência de linhagens comerciais de *P. persimilis* resistentes a piretroides (Benavent-Albarracin et al., 2020).

Um estudo indicou o envolvimento de monooxigenases dependentes do citocromo P450 na resistência de *N. californicus* a clorfenapir (Assis et al., 2018). Além disso, aumentos nas atividades das três principais enzimas de desintoxicação (P450, esterases e GST) foram detectadas em uma linhagem de *N. californicus* selecionada para resistência a espiromesifeno (Yorulmaz Salman e Ay, 2014).

Novas tecnologias de uso de ácaros predadores

Compreender melhor os mecanismos bioquímicos e moleculares associados à redução na suscetibilidade de artrópodes pragas e de ácaros predadores a inseticidas e acaricidas pode contribuir significativamente para o aprimoramento dos programas de manejo integrado de pragas. Além disso, o aumento no conhecimento sobre os mecanismos de resistência pode favorecer a seleção e uso de novas linhagens de ácaros predadores resistentes a inseticidas-acaricidas para o controle de pragas, mesmo em áreas com aplicação frequente desses agrotóxicos (Hoy et al., 1983). Embora muitos estudos sobre os mecanismos de resistência em ácaros fitófagos tenham sido realizados (Van Leeuwen e Dermauw, 2016), o conhecimento nessa área para os ácaros predadores permanece limitado. Os mecanismos bioquímicos e moleculares da resistência de ácaros predadores a inseticidas-acaricidas foram examinados em apenas algumas espécies (Casanelli et al., 2015; Cong et al., 2016). No entanto, os novos estudos sobre o genoma ou o transcriptoma de alguns ácaros predadores, como *G. occidentalis*, *N. barkeri*, *P. persimilis* e *P. macropilis*, oferecem uma grande oportunidade para elucidar os mecanismos de resistência (Hoy, 2009; Cabrera et al., 2011; Ozawa et al., 2012; Cong et al., 2016; Queiroz, 2020), e favorecer a seleção de linhagens resistentes a agrotóxicos, e com alta capacidade reprodutiva e de predação de artrópodes pragas. Esses estudos também podem viabilizar o desenvolvimento de linhagens geneticamente modificadas de ácaros predadores resistentes a inseticidas e acaricidas, que podem contribuir significativamente para o manejo integrado de pragas na agricultura.

Referências

- Albuquerque FA (2006) **Diversidade de ácaros em cultivo orgânico de citros e na vegetação natural circundante, e perspectivas para a criação massal de *Iphiseiodes zuluagai*** (Acari: Phytoseiidae) (Tese de doutorado). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- Amaral I, Moraes GJ, Melville CC, Andrade DJ (2018) Factors affecting prevailing population levels of *Brevipalpus yothersi* (Acari: Tenuipalpidae) in citrus areas affected by citrus leprosis in the State of Sao Paulo, Brazil. **Experimental and Applied Acarology** 74(4):395-402.
- Ammar ED, Ramos JE, Hall DG, Dawson WO, Shatters RG (2016) Acquisition, replication and inoculation of *Candidatus Liberibacter asiaticus* following various acquisition periods on Huanglongbing infected citrus by nymphs and adults of the Asian citrus psyllid. **PLoS One** 11(7):e0159594.
- Anber HAI, Overmeer WPJ (1988) Resistance to organophosphates and carbamates in the predacious mite *Amblyseius potentillae* (Garman) due to insensitive acetylcholinesterase. **Pesticide Biochemistry and Physiology** 31(1):91-98.
- Argolo PS, Revynthi AM, Canon MA, Moraes-Berto M, Andrade DJ, Doker I, Roda A, Carrillo D (2020) Potential of predatory mites for biological control of *Brevipalpus yothersi* (Acari: Tenuipalpidae). **Biological Control** 149:104330.
- Assis CP, Gondim Júnior MG, Siqueira HA (2018) Synergism to acaricides in resistant *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae), a predator of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Crop Protection** 106:139-145.
- Bassanezi RB (2018) **Ciências e sustentabilidade para a citricultura**. Fundecitrus - Artigo 25, janeiro de 2018. Disponível em: <<https://www.fundecitrus.com.br/citricuurasusten>> Acesso em: 26 Jun. 2022.
- Bassanezi RB (2019) **Manual de Leprose dos Citros**. Medidas essenciais de controle. Versão Atualizada. Fundecitrus: Araraquara, SP. 23p.
- Benavent-Albarracín L, Alonso M, Catalán J, Urbaneja A, Davies TGE, Williamson MS, González-Cabrera J (2020) Mutations in the voltage-gated sodium channel gene associated with deltamethrin resistance in commercially sourced *Phytoseiulus persimilis*. **Insect Molecular Biology** 29(4):373-380.
- Blommers LHM (1994) Integrated pest management in European apple orchards. **Annual Review of Entomology** 39:213-241.
- Cabrera AR, Donohue KV, Khalil SMS, Scholl E, Opperman C, Sonenshine DE, Roe RM (2011) New approach for the study of mite reproduction: The first transcriptome analysis of a mite, *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). **Journal of Insect Physiology** 57(1):52-61.
- Canale MC, Tomaseto AF, Haddad MDL, Della Coletta-Filho H, Lopes JRS (2017) Latency and persistence of 'Candidatus Liberibacter asiaticus' in its psyllid vector, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). **Phytopathology** 107(3):264-272.

06 - TECNOLOGIA NO USO DE ÁCAROS PREDADORES RESISTENTES A AGROTÓXICOS

Cassanelli S, Ahmad S, Duso C, Tirello P, Pozzebon A (2015) A single nucleotide polymorphism in the acetylcholinesterase gene of the predatory mite *Kampimodromus aberrans* (Acari: Phytoseiidae) is associated with chlorpyrifos resistance. **Biological Control** 90:75-82.

Chabi-Jesus C, Ramos-Gonzalez PL, Postclam-Barro M, Fontenele RS, Harakava R, Bassanezi RB, Moreira AS, Kitajima EW, Varsani A, Freitas-Astúa J (2021) Molecular epidemiology of citrus leprosis virus c: a new viral lineage and phylodynamic of the main viral subpopulations in the Americas. **Frontiers in Microbiology** 12:641252.

Chang CK, Whalon ME (1986) Hydrolysis of permethrin by pyrethroid esterases from resistant and susceptible strains of *Amblyseius fallacis* (Acari: Phytoseiidae). **Pesticide Biochemistry and Physiology** 25(3):446-452.

Cong L, Chen F, Yu S, Ding L, Yang J, Luo R, Tian H, Li H, Liu H, Ran C (2016) Transcriptome and difference analysis of fenpropathrin resistant predatory mite, *Neoseiulus barkeri* (Hughes). **International Journal of Molecular Sciences** 17(6):704.

Croft BA, Barnes MM (1972) Comparative studies on four strains of *Typhlodromus occidentalis*: VI. Persistence of insecticide resistant strains in an apple orchard ecosystem. **Journal of Economic Entomology** 65:211-216.

Croft BA, Strickler KA (1983) Natural enemy resistance to pesticides: documentation, characterization, theory and application. In: Georghiou GP, Saito T (Ed.) **Pest resistance to pesticides**. New York: Plenum Press, p. 669-702.

Croft BA, Van de Baan HE (1988) Ecological and genetic factors influencing evolution of pesticide resistance in tetranychid and phytoseiid mites. **Experimental and Applied Acarology** 4:277-300.

Della Vechia JF, Kapp ABP, Rocha CM (2022) The importance of acaricides in the control of citrus leprosis mite and factors that interfere with the efficacy. **Citrus Research & Technology** 43:e1074.

Dong K, Du Y, Rinkevich F, Nomura Y, Xu P, Wang L, Silver K, Zhorov BS (2014) Molecular biology of insect sodium channels and pyrethroid resistance. **Insect Biochemistry and Molecular Biology** 50:1-17.

Dunley JE, Messing RH, Croft BA (1991) Levels and genetics of organophosphate resistance in Italian and Oregon biotypes of *Amblyseius andersoni* (Acari: Phytoseiidae). **Journal of Economic Entomology** 84(3):750-755.

FAO (1984) Recommended methods for the detection and measurement of resistance of agricultural pests to pesticides. Method for phytoseiid predatory mites. **FAO Plant Protection Bulletin** 32(1):25-27.

Field RP (1978) Control of the two-spotted mite in a Victorian peach orchard with an introduced, insecticide-resistant strain of the predatory mite *Typhlodromus occidentalis* Nesbitt (Acarina: Phytoseiidae). **Australian Journal of Zoology** 26:519-527.

Fundecitrus (2024) **Psilídeo *Diaphorina citri***. Transmissor das bactérias que causam o greening. Disponível em: <<https://www.fundecitrus.com.br/pragas/diaphorina-citri>> Acesso em: 10 Jan. 2024.

Ghazy NA, Osakabe M, Negm MW, Schausberger P, Gotoh T, Amano H (2016) Phytoseiid mites under

environmental stress. **Biological Control** 96:120-134.

Helle W, Sabelis MW (1985) **Spider mites**: Their biology, natural enemies and control. Vol. 1B, Amsterdam: Elsevier. 458 p.

Hesketh PM, Sato ME (2023) Acaricide resistance in predatory mites of the genus *Euseius* (Acari:Phytoseiidae) and predation capacity on *Brevipalpus yothersi* (Acari: Tenuipalpidae). **Crop Protection** 172:106322.

Hoy MA (1990) Pesticide resistance in arthropod natural enemies: variability and selection responses. In: Roush RT, Tabashnik BE (Ed.) **Pesticide resistance in arthropods**. New York: Chapman and Hall, p.203-236.

Hoy MA (1985) Recent advances in genetics and genetic improvement of the Phytoseiidae. **Annual Review of Entomology** 30:345-370.

Hoy MA, Yu F, Meyer JM, Tarazona OA, Jeyaprakash A, Wu K (2013) Transcriptome sequencing and annotation of the predatory mite *Metaseiulus occidentalis* (Acari: Phytoseiidae): a cautionary tale about possible contamination by prey sequences. **Experimental and Applied Acarology** 59(3):283-296.

Hoy MA (2009) The predatory mite *Metaseiulus occidentalis*: mitey small and mitey large genomes. **Bioessays** 31(5):581-590.

Inak E, Salman SY (2020) Insecticide resistance mechanisms in predatory mites. **International Journal of Pest Management** 68(2):192-198.

IRAC-BR (2013) **Manejo da resistência de psílideo dos citros a inseticidas**. Disponível em: <https://irac-online.org/documents/resistencia-de-psilideo-dos-citros/>. Acesso em: 16 Jun. 2024.

McMurtry JA (1977) Some predaceous mites (Phytoseiidae) on citrus in the Mediterranean region. **Entomophaga** 22:19-30.

McMurtry JA, Croft BA (1997) Life styles of phytoseiid mites and their roles as biological control agents. **Annual Review of Entomology** 42:291-32.

Mineiro JLC, Sato ME, Ochoa R, Beard JJ, Bauchan G (2018) Revisão taxonômica do ácaro da leprose dos citros e sua distribuição no Brasil. **Citrus Research & Technology** 39:p.e-1036.

Moraes GJ, McMurtry JA, Denmark HA, Campos CB (2004) A revised catalog of the mite family Phytoseiidae. **Zootaxa** 434:1-494.

Motoyama N, Rock GC, Dauterman WC (1971) Studies on the mechanism of azinphosmethyl resistance in the predaceous mite, *Neoseiulus* (T.) *fallacis* (Family: Phytoseiidae). **Pesticide Biochemistry and Physiology** 1(2):205-215.

Mullin CA, Croft BA, Strickler K, Matsumura F, Miller JR (1982) Detoxification enzyme differences between a herbivorous and predatory mite. **Science** 217(4566):1270-1272.

Omoto C, Alves EB, Ribeiro PC (2000) Detecção e monitoramento da resistência de *Brevipalpus phoenicis*

(Geijskes) (Acari: Tenuipalpidae) ao dicofol. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil** 29:757-764.

Oppenoorth FJ (1985) Biochemistry and genetics of insecticide resistance. In: Kerkut GA; Gilbert LI (Ed.) **Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology**. Oxford: Pergamon, v.12, p.731-773.

Ozawa R, Nishimura O, Yazawa S, Muroi A, Takabayashi J, Arimura G (2012) Temperature-dependent, behavioural, and transcriptional variability of a tritrophic interaction consisting of bean, herbivorous mite, and predator. **Molecular Ecology** 21(22):5624-5635.

Queiroz MCV, Sato ME (2016) Pyrethroid resistance in *Phytoseiulus macropilis* (Acari: Phytoseiidae): cross-resistance, stability and effect of synergists. **Experimental and Applied Acarology** 68:71-82.

Queiroz MCV (2020) **Caracterização molecular da resistência de *Phytoseiulus macropilis* (Banks) (Acari: Phytoseiidae) a piretroides, liberação em campo e monitoramento dos predadores com marcadores moleculares**. Tese (Doutorado), Instituto Biológico, São Paulo.

Rocha CM, Della Vechia JF, Savi PJ, Omoto C, Andrade DJ (2021) Resistance to spiroadiclofen in *Brevipalpus yothersi* (Acari: Tenuipalpidae) from Brazilian citrus groves: detection, monitoring, and population performance. **Pest Management Science** 77(7):3099-3106.

Roush RT, Hoy MA (1981) Genetic improvement of *Metaseiulus occidentalis*: selection with methomyl, dimethoate, and carbaryl and genetic analysis of carbaryl resistance. **Journal of Economic Entomology** 74:138-141.

Sato ME, Raga A, Cerávolo LC, Rossi AC, Potenza MR (1994) Ácaros predadores em pomar cítrico de Presidente Prudente, Estado de São Paulo. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil** 23:435-441.

Sato ME, Raga A, Cerávolo LC, Rossi AC, Souza Filho MF (1996) Toxicidade residual de acaricidas a *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma, 1972 (Acari: Phytoseiidae). **Arquivos do Instituto Biológico** 63(1):15-19.

Sato ME, Miyata T, Kawai A, Nakano O (2001) Methidathion resistance mechanisms in *Amblyseius womersleyi* Schicha (Acari: Phytoseiidae). **Pesticide Biochemistry and Physiology** 69:1-12.

Sato ME, Tanaka T, Miyata T (2006) Monooxygenase activity in methidathion resistant and susceptible populations of *Amblyseius womersleyi* (Acari: Phytoseiidae). **Experimental and Applied Acarology** 39(1):13-24.

Sato ME, Tanaka T, Miyata TA (2007) Cytochrome P450 gene involved in methidathion resistance in *Amblyseius womersleyi* Schicha (Acari: Phytoseiidae). **Pesticide Biochemistry and Physiology** 88:337-345.

Scott JG, Croft BA, Wagner SW (1983) Studies on the mechanism of permethrin resistance in *Amblyseius fallacis* (Acarina: Phytoseiidae) relative to previous insecticide use on apple. **Journal of Economic Entomology** 76(1):6-10.

Sikorski LRO (2024) **Potencial de uso de *Amblydromalus limonicus* (Acari: Phytoseiidae) para o controle biológico de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) e avaliação do impacto do ácaro predador sobre outros artrópodes em pomares cítricos do estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado). Instituto Biológico, São Paulo.

Silva MZ (2009) **Interações intraguilda e toxicidade de agrotóxicos a *Neoseiulus californicus* (McGregor) e *Agistemus brasiliensis* Matioli, Ueckermann & Oliveira no controle de *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) em citros**. Tese (doutorado). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

Strickler KA, Croft BA (1982) Selection for permethrin resistance in the predatory mite, *Amblyseius fallacis* Garman (Acarina: Phytoseiidae). **Entomologia Experimentalis et Applicata** 31:339-345.

Tassi AD, Ramos-González PL, Sinico TE, Freitas-Astua J, Kitajima EW (2022) Circulative transmission of cileviruses in *Brevipalpus* mites may involve the paracellular movement of virions. **Frontiers in Microbiology** 6(13):836743.

Tirello P, Pozzebon A, Duso C (2012) Resistance to chlorpyrifos in the predatory mite *Kampimodromus aberrans*. **Experimental and Applied Acarology** 56(1):1-8.

Van de Baan HE, Kuijpers LAM, Overmeer WPJ, Oppenoorth FJ (1985) Organophosphorus and carbamate resistance in the predacious mite *Typhlodromus pyri* due to insensitive acetylcholinesterase. **Experimental and Applied Acarology** 1(1):3-10.

Van Houten YM, Rothe J, Bolckmans KJF (2008) The generalist predator *Typhlodromalus limonicus* (Acari: Phytoseiidae): a potential biological control agent of thrips and whiteflies. **Bulletin IOBC/WPRS** 32:237-240.

Vidal C, Kreiter S (1995) Resistance to a range of insecticides in the predaceous mite *Typhlodromus pyri* (Acari: Phytoseiidae): inheritance and physiological mechanisms. **Journal of Economic Entomology** 88(5):1097-1105.

Xu Y, Zhang ZQ (2015) *Amblydromalus limonicus*: a “new association” predatory mite against an invasive psyllid (*Bactericera cockerelli*) in New Zealand. **Systematic and Applied Acarology** 20(4):375-382.

Yorulmaz Salman S, Ay R (2014) Determination of the inheritance, cross-resistance and detoxifying enzyme levels of a laboratory-selected, spiromesifen-resistant population of the predatory mite *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). **Pest Management Science** 70 (5):819-826.

07

Manejo de cochonilhas com produtos biológicos e naturais

Pedro Takao Yamamoto¹
Fernando Henrique Iost Filho²
Ana Clara Ribeiro de Paiva Iost²

📍 ¹Departamento de Entomologia e Acarologia,
ESALQ/USP, Piracicaba-SP

✉️ pedro.yamamoto@usp.br

📍 ²SmartMIP, Manejo Integrado de Pragas LTDA,
Piracicaba-SP

✉️ fernandohiost@usp.br; anaclara@smartmip.com.br

Introdução

As pragas causam enormes danos e são responsáveis por quebra de produção e prejuízos aos agricultores. Infelizmente, não ocorre somente uma praga e, nas diferentes culturas plantadas no Brasil, é comum o ataque de diversas pragas de forma simultânea e compartilhando os mesmos recursos.

Em citros, o número de insetos que são considerados pragas é grande, e eles ocorrem em todas as partes da planta, sendo que há predominância é de insetos e ácaros vetores de fitopatógenos. No entanto, também ocorrem pragas que causam danos diretos, entre elas as cochonilhas, que são consideradas pragas secundárias, mas que, eventualmente, devem ser controladas para não causar danos econômicos. Muitas dessas ocorrem de forma sazonal, deixando de ter relevância com o tempo e mudança no manejo de insetos vetores, primeiro as cigarrinhas e, posteriormente, o psílideo *Diaphorina citri* Kuwayama, 1908 (Hemiptera: Psyllidae), que intensificaram a utilização de inseticidas na cultura dos citros.

Nos últimos anos, após a constatação do *greening* no Brasil, em 2004, a principal espécie ocorrendo em citros é a cochonilha-escama-farinha, *Unaspis citri* (Comstock, 1883) (Hemiptera: Diaspididae) (Figura 1).



Figura 1
Ataque da cochonilha escama-farinha *Unaspis citri* em tronco de laranjeira.

Apesar do controle de cochonilhas ser baseado na aplicação de inseticidas sintéticos, estão disponíveis algumas soluções biológicas para seu manejo e o presente capítulo aborda as opções de bioinsumos para o controle das cochonilhas dos citros.

Cochonilhas em citros

A importância e a diversidade das espécies de cochonilhas que atacam os citros mudaram muito no decorrer dos anos. No passado, as espécies de cochonilha (Hemiptera: Coccoidea) mais comumente observadas atacando cítricos eram a cochonilha-escama-vírgula - *Lepidosaphes beckii* (Newman, 1869) (Hemiptera: Diaspididae) e *Lepidosaphes gloverii*, cochonilha-cabeça-de-prego - *Chrysomphalus ficus*, escama-lixa - *Mycetaspis personata* (Comstock, 1883) (Hemiptera: Diaspididae), cochonilha-verde - *Coccus viridis* (Green, 1889) (Hemiptera: Coccidae), cochonilha-preta ou pimentinha (*Saissetia oleae* (Olivier, 1791) e *Saissetia coffeae* (Walker, 1852) (Hemiptera: Coccidae) e cochonilha farinhenta - *Planococcus citri* Risso, 1813 (Hemiptera: Pseudococcidae).

Posteriormente, na década de 1980 surgiram ou ganharam importância algumas espécies que por algum tempo causaram danos e necessitaram ser controladas, tais como a cochonilha-pardinha - *Selenaspidus articulatus* (Morgan, 1889) (Hemiptera: Diaspididae) (Figura 2), cochonilha-parlatória - *Parlatoria cinerea* Hadden 1909 (Hemiptera: Diaspididae), parlatória-preta - *Parlatoria ziziphus*, escama-farinha-de-tronco (*U. citri*) e cochonilha-ortézia - *Praelongorthezia praelonga* (Douglas, 1891) (Hemiptera: Diaspididae) (Figura 3). A maioria dessas espécies, embora controladas, nunca foram consideradas de grande importância e com a intensificação do uso de inseticidas, primeiramente para controle das cigarrinhas transmissoras da bactéria *Xylella fastidiosa* Wells et al., 1987 e posteriormente para o controle do psilídeo-asiático-dos-citros, *D. citri*, deixaram de ocorrer nos pomares.



Figura 2

Incidência da cochonilha pardinha *Selenaspidus articulatus* em folhas e frutos cítricos.



Figura 3

Incidência da cochonilha ortézia *Praelongorthezia praelonga* e incidência de fumagina em plantas cítricas.

Nas décadas de 1980 e 1990, a incidência da cochonilha-ortézia em pomares cítricos era muito frequente e causava danos e prejuízos significativos, sendo responsável, inclusive, pela erradicação de talhões pela dificuldade de controle. Mas, assim como citado anteriormente, com a intensificação da aplicação de inseticidas para o controle do psilídeo, deixou de ser importante.

Controle Biológico

Um conceito importante é o de bioinsumo, que é o produto, o processo ou a tecnologia de origem vegetal, animal ou microbiana, destinado ao uso na produção agrícola, no armazenamento e no beneficiamento de produtos agropecuários, nos sistemas de produção aquáticos ou de florestas plantadas, que interfiram positivamente no crescimento, no desenvolvimento e no mecanismo de resposta de animais, de plantas, de microrganismos e de substâncias derivadas e que interajam com os produtos e os processos físico-químicos e biológicos.

Os bioinsumos podem ser classificados em:

✓ **Biodefensivos:** agentes biológicos (ácaros, insetos e nematoides), microbiológicos (bactérias, fungos, vírus ou protozoários), semioquímicos (feromônios e aleloquímicos) ou produtos bioquímicos (hormônios, enzimas ou reguladores de crescimento) usados para o controle de pragas, doenças e plantas daninhas;

✓ **Biofertilizantes:** inoculantes, biofertilizantes e bioestimulantes de solo usados para aumentar a fertilidade, acrescentar nutrientes, melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo, além de promover maior sustentabilidade do ecossistema, e até a regeneração de áreas degradadas.

Por outro lado, a cochonilha escama-farinha-de-tronco, *U. citri*, que era considerada de menor importância passou a ser a principal, tornando-se, na atualidade, a espécie que mais tem causado prejuízos, necessitando manejo adequado.

✓ **Bioestimulantes:** são constituídos de reguladores de crescimento, compostos por hormônios vegetais ou sintéticos, que atuam na fisiologia da planta, melhorando o seu desenvolvimento.

Dentre os biodefensivos destacam-se os agentes de controle biológico. O controle biológico é um fenômeno natural que consiste na regulação do número de plantas e animais por inimigos naturais (agentes biológicos de controle), os quais se constituem nos agentes de mortalidade biótica. Assim, todas as espécies de plantas e animais têm inimigos naturais atacando seus vários estágios de vida. Dentre tais inimigos naturais existem grupos bastante diversificados, como insetos, vírus, fungos, bactérias, nematoides, protozoários, rickettsias, micoplasmas, ácaros, aranhas, peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos.

Manejo Biológico de cochonilhas em citros

Controle Biológico Natural

Naturalmente, em campo, as cochonilhas são atacadas por inúmeros inimigos naturais, englobando tanto macro como microbiológicos. Dentre os macrobiológicos, referindo-se aos predadores, é comum observar se alimentando de cochonilhas, tanto de carapaça como sem carapaça, joaninhas *Pentilia egea* Mulsant, 1850 (Coleoptera: Coccinellidae), *Coccidophilus citricola* Brèthes, 1905 (Coleoptera: Coccinellidae) e *Azya luteipes* Mulsant, 1850 (Coleoptera: Coccinellidae), crisopídeos (Neuroptera: Chrysopidae) do gênero *Chrysopodes* Navás, 1913 e *Ceraeochrysa* Adams, 1982 e *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861), além de predadores das famílias Reduviidae, Drosophilidae e Syrphidae. Parasitoides dos gêneros *Aphytis* Howard, 1900 e *Encarsia* Förster, 1878 também foram relatados parasitando cochonilhas.

Dentre os entomopatógenos, os fungos são os mais relatados ocorrendo naturalmente em cochonilhas. Os fungos *Colletotrichum gloesporioides* (Penz.) Penz. & Sacc., *Lecanicillium longisporum* (Petch) Zare & W. Gams e *Syngliocadium* sp. são relatados ocorrendo em *P. praelonga*. Os fungos dos gêneros *Fusarium* Link, 1809, *Lecanicillium* W. Gams & Zare, 2001, *Myriangium* e *Tetracrium* ocorrem naturalmente atacando a cochonilha *S. articulatus*. Para a pior cochonilha dos citros na atualidade, *U. citri*, há citação da ocorrência de diversos fungos entomopatogênicos tais como, *Aschersonia* Endl., 1842, *Fusarium coccophilum* (Desm.) Wollenw. & Reinking, *Lecanicillium lecanii* (Zimm.) Zare & W.Gams, *Myriangium duriaei* Mont. & Berk., *Tetracrium coccicolum* (Ellis & Everh.) Höhn. e uma espécie de *Trichoderma* Persoon ex Gray, 1801.

Controle biológico aplicado de cochonilhas em citros

Dado principalmente à importância das cochonilhas como pragas, sendo classificadas como de importância secundária, poucas são as opções de bioinsumos registrados para controle desse grupo. Apesar disso, algumas opções são disponíveis e podem ser empregadas em citros.

Para a cochonilha escama-farinha tem-se disponível produtos à base de fungos entomopatogênicos, um sendo uma mistura dos fungos *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. e *Isaria javanica* (Bally) Samson &

Hywel-Jones e outro a base de *Isaria fumosorosea* Wize. Também há registro do óleo de casca de laranja, que pode ser uma alternativa aos inseticidas químicos ou utilizados em mistura com esses.

Para a cochonilha-branca, estão registrados biopesticidas à base dos fungos entomopatogênicos *B. bassiana*, *I. fumosorosea* e *M. anisopliae*. *B. bassiana* também pode ser utilizado para controle da cochonilha-verde. E, para a cochonilha-ortézia somente está disponível o óleo de casca de laranja (Tabela 1).

Tabela 1

Opções de bioinsumos registrados para uso no controle de cochonilhas que ocorrem em citros.

| Cochonilha | | Produto disponível para controle |
|--------------------------|-----------------------------------|---|
| Nome comum | Nome científico | |
| Escama-farinha-de-tronco | <i>Unaspis citri</i> | <i>Beauveria bassiana</i> + <i>Isaria javanica</i> <i>Isaria fumosorosea</i> Óleo de casca de laranja |
| Cochonilha-branca | <i>Planococcus citri</i> | <i>Beauveria bassiana</i> <i>Isaria fumosorosea</i> <i>Metarhizium anisopliae</i> |
| Cochonilha-verde | <i>Coccus viridis</i> | <i>Beauveria bassiana</i> |
| Cochonilha-ortézia | <i>Praelongorthezia parelonga</i> | Óleo de casca de laranja |

Referências

Parra JRP, Lopes JRS, Zucchi RA, Guedes JVC (2005) Biologia de Insetos - Pragas e Vetores. In: Matos Jr. D, De Negri JD, Pio RM, Pompeu Jr. J (Org.). **Citros**. São Paulo: FAPESP, v.1, p. 655-687.

Parra JRP, Pinto AS, Nava DE, Oliveira RC, Diniz AJF (2021) Conceitos e evolução do controle biológico. In: Parra JRP, Pinto AS, Nava DE, Oliveira RC, Diniz AJF (Eds.) **Controle biológico com parasitoides e predadores na agricultura brasileira**. 1ed., Piracicaba: Fealq, v.1, p. 17-38

Yamamoto PT, Parra JRP (2005) Manejo integrado de pragas dos citros. In: Matos Jr. D, De Negri, J.D.; Pio RM, Pompeu Jr. J (Org.). **Citros**. São Paulo: FAPESP, v.1, p. 729-768.

08

Eficiência de produtos biológicos e naturais no controle de *Diaphorina citri*

Rogério Teixeira Duarte
Leonardo Gazoli
Humberto Vinicius Vescove

-
- 📍 Universidade de Araraquara (UNIARA),
Araraquara, São Paulo, Brasil
 - ✉ rogerio.tduarte@yahoo.com.br
 - ✉ leogazoli@hotmail.com
 - ✉ vescoveconsultoria@gmail.com

Introdução

O psílídeo-dos-citros *Diaphorina citri* Kuwayama, 1908 (Hemiptera: Psyllidae) é considerado uma das principais pragas da citricultura, por ser vetor da bactéria *Candidatus Liberibacter spp.*, cujos sintomas estão associados a doença conhecida como huanglongbing (HLB) ou *greening*, que tem causado prejuízos significativos para o Brasil, podendo inviabilizar pomares produtivos em até quatro anos e ausência de produção para aqueles pomares em formação (Diniz, 2013; Marsaro Júnior et al., 2014; Hall et al., 2016).

Como ainda não existem medidas curativas e muito menos materiais resistentes disponíveis ao manejo desta doença, a principal estratégia a campo está diretamente focada no controle do vetor (Bové, 2006; Gottwald, 2010). O referido artrópode praga, tido de origem asiática, foi identificado no Brasil na década de 1940, em que, a partir do ano de 2004, correspondente ao primeiro relato acerca da doença HLB no Brasil, o psílídeo-dos-citros deixa de ter posição como praga secundária e passa a ocupar lugar de destaque entre as principais pragas da citricultura (Gallo et al., 2002; Parra et al., 2010; Miranda, 2022).

Praticamente, dependendo da região produtora de citros, a densidade populacional deste inseto é alta durante todo o ano, com destaque, principalmente, nos meses em que os pomares apresentam maior intensidade de brotações, em que, no geral, tem sido observado aumento considerável na população desta praga a partir do final do inverno e início da primavera, intimamente relacionado ao início das precipitações e formação do primeiro fluxo vegetativo da cultura, se estendendo ao longo da primavera-verão, com conseqüente redução a partir do outono, momento pelo qual, em muitos pomares, as plantas se encontram em repouso vegetativo (Duarte et al., 2023).

O monitoramento de adultos nos pomares é conduzido pela contagem de insetos nas armadilhas adesivas amarelas, normalmente distribuídas nas bordas dos talhões e da propriedade, podendo também ser instaladas no interior da mesma, visando justamente analisar a distribuição de adultos nas dependências internas da área agrícola. Em relação as ninfas, estas são monitoradas visualmente por intermédio de avaliações regulares nos talhões das propriedades, por intermédio dos “pragueiros” (responsáveis pelas inspeções de pragas dos citros), com início das avaliações nas bordas dos talhões, seguindo-se para o interior do mesmo.

Importante salientar que a constatação de um indivíduo de *D. citri* por amostragem já é suficiente para tomada de decisão frente ao uso de determinada estratégia de controle, pois este inseto se apresenta como vetor de bactérias causadoras do HLB. O monitoramento de adultos e ninfas de *D. citri* é de grande valia quanto à tomada de decisão para a escolha de uma estratégia de controle que reduza eficientemente a densidade populacional da praga no pomar, e dentro desta premissa, o controle químico continua sendo uma das principais ferramentas para o manejo populacional deste inseto nos citros.

E por se tratar do método de controle que ainda tem sido o mais utilizado na citricultura, visando justamente a redução populacional de *D. citri*, tal estratégia pode propiciar na seleção de populações resistentes, aumento nos custos de produção e também problemas de ordem ambiental, se não for bem orientada (Belasque-Jr., 2010; Diniz, 2013; Boina e Bloomquist, 2015). Ressalta-se que o controle químico faz parte do manejo integrado de pragas, porém sua utilização deve ser consciente e técnica, balizando-se em inseticidas registrados para o controle de *D. citri*, devidamente orientados pela bula dos respectivos produtos químicos e, se possível, selecionados conforme o programa Pro-

tecitrus, representado por uma lista de agrotóxicos que estão em conformidade com a legislação internacional (Fundecitrus, 2025).

Dentro de um programa de manejo integrado de pragas, outras estratégias também poderão ser implementadas visando ao controle do psílídeo-dos-citros, sendo que, dentre aquelas que estão evoluindo bastante nos últimos anos, se destaca o método de controle biológico, mas também com estratégias quanto ao uso de produtos ditos “naturais” visando ao manejo de *D. citri*.

Quanto ao método de controle biológico, no que tange à citricultura, balizado pelo uso de parasitoides, em especial *Tamarixia radiata* (Waterston, 1922) (Hymenoptera: Eulophidae), muitas pesquisas nacionais foram desenvolvidas ao longo dos anos para o pleno entendimento do uso deste inimigo natural como estratégia auxiliar no manejo populacional de *D. citri*, com liberações inundativas em locais como os centros urbanos, mas também em pomares “abandonados” e, desta forma, contribuir frente ao manejo da referida praga (Torres, 2009; Diniz, 2013; Parra et al., 2016).

De acordo com a Fundecitrus (2024), dentro das principais regiões produtoras de citros no Brasil, os pomares abandonados representam aproximadamente 0,16%, com destaque a região sudoeste do Estado de São Paulo, em que, situações como esta podem justamente intensificar o aumento da densidade populacional do psílídeo-dos-citros nas diferentes regiões produtoras e, por mais que algumas medidas de controle estejam sendo utilizadas, ainda se faz necessário o uso de novas estratégias para mitigar tal cenário.

Entretanto, a evolução quanto a utilização do controle biológico com *T. radiata* tem sido um grande impasse na citricultura, haja vista que a multiplicação deste parasitoide em larga escala ainda se

apresenta como um grande desafio para o setor, fator este, no qual, o mercado tem buscado por outras opções de maior viabilidade, atrelado a maior facilidade de obtenção e utilização, intimamente relacionado a produtos industriais de ordem biológica e natural.

Dentre estes, a utilização de fungos entomopatogênicos visando ao controle de adultos de *D. citri*, principalmente, se apresenta em atual progressão no cenário citrícola nacional, em que, são relatados na lista Protecitrus um total de sete produtos comerciais à base de *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin; dez produtos comerciais à base de *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill.; quatro produtos comerciais à base de *Cordyceps fumosorosea* (Wize) Kepler, B. Shrestha & Spatafora; e um produto comercial à base de *Cordyceps javanica* (Bally) Kepler, B. Shrestha & Spatafora (Fundecitrus, 2025).

A maioria destes fungos entomopatogênicos são generalistas, sendo registrados para o manejo de uma gama de insetos praga, em que, para a citricultura, muitos dos esforços ainda estão concentrados frente a utilização destes entomopatógenos no controle de *D. citri* e, neste caso, por se tratar de um inseto vetor, além da elevada virulência que tais entomopatógenos, na forma de produtos biológicos comerciais, devem apresentar quanto ao controle deste inseto, a velocidade em ocasionar mortalidade do psílídeo-dos-citros também deve ser levada em consideração, justamente por ser considerado um inseto transmissor de doenças.

Neste sentido, alguns pontos importantes devem ser considerados, como a espécie do fungo entomopatogênico utilizado no manejo de *D. citri*, em que, para a citricultura, nos dias atuais, a principal ainda se configura por produtos biológicos comerciais à base de *C. fumosorosea*. Porém, por conta da variabilidade genética dentro de uma mesma espécie de fungo entomopatogênico, também deve se levar em conta qual o isolado do referido

08 - EFICIÊNCIA DE PRODUTOS BIOLÓGICOS E NATURAIS NO CONTROLE DE *DIAPHORINA CITRI*

entomopatígeno está sendo formulado como um produto comercial, em que, tais fatores são importantes frente a especificidade a determinada praga agrícola e, conseqüentemente, poderá refletir em maior ou menor virulência do entomopatígeno sobre o psilídeo-dos-citros.

Outro fator de relevância frente ao sucesso no uso de produtos biológicos comerciais no manejo de pragas, compete a maneira pela qual este foi sintetizado (primeira, segunda ou terceira geração) e também quanto a formulação da qual determinado entomopatígeno foi submetido para se sintetizar um produto biológico, ou seja, qual o grau de tecnologia embarcada em determinado produto comercial, da qual será muito importante frente ao manejo de pragas.

Dentro deste entendimento, no que tange ao manejo de *D. citri*, e referente aos parâmetros tecnológicos acima relatados, um dos fatores cruciais quanto a melhoria na eficiência do entomopatígeno no controle da referida praga, compete a formulação do produto biológico comercial, sendo atualmente, um fator cada vez mais pesquisado e aprimorado dentro das empresas deste setor agrícola. A formulação de um produto biológico poderá auxiliar desde aspectos voltados ao espalhamento, penetração, adesividade, diminuição da velocidade na evaporação da água (umectantes), mas também naqueles voltados a manutenção da viabilidade das estruturas reprodutivas do entomopatígeno, auxiliando sobremaneira na funcionalidade e melhoria da eficiência do fungo entomopatogênico sobre a praga para diferentes condições de aplicação.

No que tange a questão intrínseca com o inseto praga em questão (psilídeo-dos-citros), a fase biológica na qual se quer manejar com determinado fungo entomopatogênico também se apresenta de grande importância quanto a eficiência de controle, em que, a fase imatura de *D. citri* normalmente se apresenta de maior suscetibilidade a

ação destes entomopatógenos, quando comparada a fase adulta, da qual o tegumento se apresenta mais esclerotizado, dificultando sobremaneira a penetração e colonização do microrganismo, e conseqüente mortalidade. Entretanto, no campo, a maior demanda do produtor frente ao manejo desta praga se concentra no controle de adultos, sendo as ninfas apresentando maior relevância em momentos de elevado fluxo vegetativo da cultura, em que, na prática, se configura entre os meses de agosto-setembro e dezembro-janeiro, enquanto que a preocupação frente ao manejo de adultos é constante, direcionada o ano todo.

Por conseqüente, a estratégia de tecnologia de pulverização de um fungo entomopatogênico também deve ser colocada em destaque, em que, a melhor condição para o emprego desta tecnologia, em termos ambientais, compete a temperaturas mais amenas e com elevada umidade relativa do ar, além de um maior volume de calda ao que se tem utilizado ultimamente frente as aplicações de inseticidas, de forma a conseguir maior molhamento da folhagem e penetração da calda, haja vista que, em determinadas regiões do Estado de São Paulo já se tem observado adultos de psilídeos na vegetação interna a planta, além também de regiões do pomar das mesmas, locais estes de difícil acesso da calda inseticida, dependendo das condições técnicas de poda na qual o pomar foi submetido.

Outro fator quanto a eficiência dos fungos entomopatogênicos no campo visando ao manejo de pragas condiz a compatibilidade do entomopatígeno quanto a calda inseticida (mistura em tanque), podendo acometer em incompatibilidade do produto comercial biológico com outros inseticidas, acaricidas, fungicidas, fertilizantes foliares ou adjuvantes; mas também a próximas aplicações na propriedade, em que, dependendo do fungicida a ser pulverizado na cultura posterior aplicação do entomopatígeno, no intuito de manejar determinado fitopatógeno, o mesmo poderá inviabilizar por completo a aplicação do microrganismo ento-

mopatógeno realizado dias anteriores frente ao manejo do psílídeo-dos-citros.

Outra linha de raciocínio frente ao manejo de *D. citri*, compete ao uso de bactérias, especialmente aquelas do gênero *Pseudomonas*, no qual ainda as pesquisas estão em plena evolução buscando melhor entendimento deste microrganismo sobre as diferentes fases biológicas do psílídeo-dos-citros, com foco principal no manejo de adultos desta espécie praga.

Desta forma, são inúmeros os desafios quanto a utilização de produtos biológicos frente ao manejo de *D. citri*, sendo as pesquisas de extrema relevância frente a melhorias quanto a utilização e desempenho destes entomopatógenos no controle do psílídeo-dos-citros, o que, possivelmente, em um curto espaço de tempo, será possível evidenciar uma maior relação de produtos biológicos comerciais disponíveis ao manejo desta praga, além também de melhorias quanto ao manejo e a praticabilidade agrônômica destes microrganismos, facilitando cada vez mais seu emprego na agricultura, em especial, na citricultura brasileira.

Quanto aos produtos de origem natural, uma das temáticas mais discutidas atualmente, compete a utilização de caulim processado, frente ao manejo de adultos de psílídeos-dos-citros, sendo este um inerte não tóxico, à base de silicato de alumínio. Neste cenário, a formulação de produtos comerciais também é de enorme relevância, haja vista que, quando pulverizado sobre a folhagem de plantas cítricas, o intuito é que se forme uma camada branca sobre a folhagem, dificultando assim o reconhecimento da planta por parte dos adultos de *D. citri*, interferindo neste caso, sobre o comportamento do inseto.

Dentro das pesquisas já conduzidas, esta tecnologia tem sido muito utilizada em pomares novos, principalmente nas bordaduras, locais de maior altitude na propriedade e também nos talhões com maior número de psílídeos capturados por armadilha adesiva amarela. Neste cenário, o produto comercial à base de caulim processado, além de apresentar um bom espalhamento sobre a folhagem da cultura e garantir excelente cobertura da coloração branca nas folhas cítricas, uma importante questão voltada ao emprego desta ferramenta condiz ao lavamento deste produto por conta das precipitações pluviométricas, em que, se espera o mínimo possível da lavagem deste produto sobre a folhagem da cultura, garantido assim um período maior de repelência deste em relação a adultos de *D. citri*.

Outro ponto a ser levado em consideração compete a ação do produto sobre a planta, haja vista que a mesma, visando produção de energia (ATP), realiza a fotossíntese e, neste caso, se espera que tais produtos comerciais não interfiram na capacidade fotossintética das plantas cítricas.

Ademais, fatores relacionados a tecnologia de aplicação também estão em pauta dentro das pesquisas, com estudos direcionados na interferência de produtos comerciais à base de caulim processado no pH da calda de aplicação, mas também a relação destes produtos em diferentes qualidades de água de pulverização, visando justamente entender o comportamento destes produtos comerciais nos diferentes cenários agrícolas quanto a utilização de água nas propriedades como veículo das aplicações fitossanitárias, além também da validação de misturas com outras moléculas químicas, principalmente os inseticidas.

08 - EFICIÊNCIA DE PRODUTOS BIOLÓGICOS E NATURAIS NO CONTROLE DE *DIAPHORINA CITRI*

Atualmente, o mercado com produtos comerciais à base de caulim processado tem crescido muito na citricultura, buscando diferenciais no que tange a formulação, tamanho de partículas e composição, o que permeia a continuidade das pesquisas dentro desta área visando justamente o entendimento destes novos produtos comerciais frente ao comportamento de adultos de *D. citri*, mas também como estes agem diretamente sobre o inseto e/ou sobre seu ciclo de vida, caracterizado de forma indireta.

A utilização de compostos de extratos botânicos também tem ganhado destaque quanto aos potenciais inseticidas naturais frente ao manejo de *D. citri*, com foco na mortalidade de adultos de psilídeos-dos-citros, mas também no intuito de repelência destes insetos. Dentro desta perspectiva, as pesquisas nesta área têm evoluído de forma constante, visando justamente entender e posicionar os extratos botânicos no manejo desta praga agrícola, porém ainda um mercado em expansão, muitas vezes pautado na geração da informação e consequente síntese de um produto comercial, sendo ainda pouco direcionado ao manejo exclusivo do psilídeo-dos-citros, necessitando mais pesquisas nesta área para o pleno entendimento da ação destes compostos naturais sobre esta praga.

Considerações finais

Em termos gerais, o manejo de *D. citri* ainda é muito orientado frente a utilização de inseticidas sintéticos, o que tem demonstrado a seleção de populações de psílídeos com menor sensibilidade a determinadas moléculas químicas, principalmente aquelas relacionadas aos piretroides e neonicotenoídeos. Em vista disso, e por uma cobrança da classe consumidora por alimentos que garantam maior segurança alimentar, tem-se buscado continuamente por outras estratégias de manejo da referida praga e, neste caso, o advento e crescimento quanto ao uso de produtos biológicos e naturais estão sendo cada vez mais comuns na citricultura, por intermédio de uma mudança de concepção da agricultura, mas também por dificuldades de controle de pragas frente ao uso exclusivo do controle químico.

Esta realidade ainda se condiz como embrionária e, em se tratando de citricultura, a evolução de outras estratégias de controle de pragas deve avançar de forma morosa, porém crescente e que, atrelado a ciência e por meio da continuidade das pesquisas, tal cenário tende a gerar novas oportunidades, além da resolução de desafios atuais, o que possibilitará o emprego de outras estratégias do psílídeo-dos-citros, de maneira sustentável e com custos condizentes aos recebíveis pelo produtor.

No presente cenário, que se encontra em plena quebra de paradigmas e em crescente evolução, muitas estratégias de manejo de psílídeos no campo já estão sendo pautadas em tecnologias além do uso do controle químico, e que tem auxiliado sobremaneira na melhoria do manejo da propriedade frente a este inseto vetor, direcionadas quanto a escolha de variedades e seu posicionamento na propriedades, com foco em estratégias culturais, posicionamento técnico da condução destes pomares, visando melhorias quanto aos tratos fi-

tossanitários, estratégias pautadas em avanços na tecnologia de aplicação de defensivos, uso do controle biológico e de produtos de origem natural, melhoria nas questões nutricionais das plantas, como forma de bioestimulação e indução de resistência ao ataque de pragas e doenças, entre outras atividades corriqueiras da fazenda das quais estão intimamente voltadas ao melhor uso da tecnologia em favor da sustentabilidade da citricultura e manejo desta importante praga agrícola.

Desta forma, acredita-se que o uso com maior constância de produtos comerciais à base dos entomopatógenos e produtos ditos “naturais” avança sobremaneira para os próximos anos, e que, com as pesquisas, se melhore cada vez mais a eficiência destas estratégias no que tange não somente ao manejo do psílídeo-dos-citros, mas também de outras pragas de grande importância à citricultura.

Referências

Belasque-Jr. J, Yamamoto PT, Miranda MP, Bassanezi RB, Ayres AJ, Bové JM (2010) Controle do Huanglongbing no estado de São Paulo, Brasil. **Citrus Research & Technology** 31(1):53-64.

Boina DR, Bloomquist JR (2015) Chemical control of the Asian citrus psyllid and of Huanglongbing disease in citrus. **Pest Management Science** 71(6):808-823.

Bové JM (2006) Huanglongbing: a destructive, newly emerging, century-old disease of citrus. **Journal of Plant Pathology** 88(1):7-37.

Diniz AJF (2013) **Otimização da criação de *Diaphorina citri* Kuwayama, 1908 (Hemiptera: Liviidae) e de *Tamarixia radiata* (Waterston, 1922) (Hymenoptera: Eulophidae), visando a produção em larga escala do parasitoide e avaliação do seu estabelecimento em campo**. 128f. Tese (Doutorado em Entomologia) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Piracicaba, SP.

Duarte RT, Vescove HV, Gazoli L (2023) Pest management in citrus farming. In: Oliveira SJ, Peterlini E, Franchini G, Peixoto PG, Garcia HAE, Pacheco DDR, Carvalho LLB, Polanczyk RA (eds) **Topics in Agricultural Entomology**. 1st ed. Tagore Editora, Brasília, pp 224-248.

Fundecitrus. **Inventário de árvores e estimativa da safra de laranja do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo Mineiro / Sudoeste mineiro: retrato dos pomares em março de 2024**. Disponível em: https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes_relatorios/2024_06_10_invent%C3%A1rio_e_Estimativa_do_Cinturao_Citricola_2024-2025.pdf. 116 p. Acesso em: dezembro/2024.

Fundecitrus. **Protecitrus: produtos para proteção da citricultura**. Disponível em: <https://www.fundecitrus.com.br/protecitrus>. Acesso: janeiro/2025.

Gallo D, Nakano O, Silveira Neto S, Carvalho RPL, Baptista GC, Berti Filho E, Parra JRP, Zucchi RA, Alves SB, Vendramim JD, Marchini LC, Lopes JRS, Omoto C (2002) **Entomologia Agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 920p.

Gottwald TR (2010) Current epidemiological understanding of citrus Huanglongbing. **Annual Review of Phytopathology** 48:119-139.

Hall DG, Albrecht U, Bowman KD (2016) Transmission rates of 'Ca. Liberibacter asiaticus' by Asian citrus psyllid are enhanced by the presence and developmental stage of citrus flush. **Journal of Economic Entomology** 109(2):558-563.

Marsaro Júnior AL, Guidolin AS, Cõnsoli FL, Freitas-Astúa J (2014) Primeiro registro de *Diaphorina citri* Kuwayama, 1908 (Hemiptera: Liviidae) para o estado de Roraima, Brasil. **Revista de Agricultura** 89(3):183-186.

Miranda MP (2022) **Manual de psilídeo *Diaphorina citri*: medidas essenciais de controle**. Araraquara: Fundecitrus, 19p.

Parra JRP, Alves GR, Diniz AJF, Vieira JM (2016) *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) × *Diaphorina*

citri (Hemiptera: Liviidae): mass rearing and potential use of the parasitoid in Brazil. **Journal of Integrated Pest Management** 7(1):1-11.

Parra JRP, Lopes JRS, Torres MLG, Nava DE, Paiva PEB (2010) Bioecologia do vetor *Diaphorina citri* e transmissão de bactérias associadas ao huanglongbing. **Citrus Research & Technology** 31:27-51.

Torres MLG (2009) **Estudos bioecológicos de *Tamarixia radiata* (Waterston, 1922) (Hymenoptera: Eulophidae) para o controle de *Diaphorina citri* Kuwayama, 1907 (Hemiptera: Psyllidae)**. 138f. Tese (Doutorado em Entomologia) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Piracicaba, SP. 2009.

09

Resultados de pesquisa sobre o uso de produtos biológicos no manejo de pragas dos citros

Danilo Franco
Renan Moisés Paneghini Zanata
Leandro Aparecido Fukuda

-
- 📍 FarmAtac Consultoria, Bebedouro, São Paulo
 - ✉️ danilo@farmatac.com.br
 - ✉️ renan@farmatac.com.br
 - ✉️ leandro@farmatac.com.br

Introdução

A citricultura moderna enfrenta uma série de desafios no manejo de pragas, especialmente para o manejo de insetos e ácaros. A crescente demanda por práticas mais sustentáveis e o ritmo reduzido de desenvolvimento de agrotóxicos convencionais, tem impulsionado o desenvolvimento e a adoção de alternativas. Nesse contexto, o controle biológico tem se destacado como uma abordagem para o manejo integrado de pragas, proporcionando soluções naturais e, em muitos casos, tão eficientes quanto o manejo convencional.

Neste texto, apresentaremos parte da experimentação vivenciada pela Estação Experimental da FarmAtac na avaliação de inseticidas e acaricidas biológicos e/ou naturais. Em particular, as plantações de citros, que são frequentemente afetadas por uma variedade de pragas, têm iniciado o uso de fungos entomopatogênicos e extratos vegetais no controle biológico. O uso desses proporciona uma alternativa natural ao controle de pragas, o uso de fungos entomopatogênicos e extratos vegetais, como *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. e *Cordyceps fumosorosea* (Wize) Kepler, B. Shrestha, têm tido destaque no desenvolvimento de produtos formulados.

Fungos entomopatogênicos no controle biológico de pragas

Os fungos entomopatogênicos e os extratos vegetais desempenham papel importante no manejo de pragas agrícolas. Por exemplo, fungos entomopatogênicos são capazes de infectar e causar a morte de ácaros e insetos pragas de forma natural, sendo amplamente utilizados como agentes de controle biológico. Por outro

lado, os extratos vegetais também conhecidos como produtos naturais ou inseticidas botânicos possuem rápida degradação no ambiente, baixa persistência e menor risco de evolução da resistência em populações de pragas.

Características dos fungos entomopatogênicos

Os fungos entomopatogênicos possuem uma série de características que os tornam eficientes no controle de pragas. Uma das principais características é a alta capacidade de infectar um grande número de insetos e ácaros, atingindo diferentes fases de desenvolvimento, como larvas, ninfas e adultos. A infecção ocorre quando os esporos do fungo, conhecidos como conídios, entram em contato com a cutícula do inseto hospedeiro.

Após a germinação dos conídios, o fungo produz enzimas que degradam a cutícula, permitindo a penetração do fungo na hemolinfa do inseto. Uma vez dentro do corpo do inseto, o fungo se multiplica, causando danos aos órgãos internos e, geralmente, resultando na morte do inseto hospedeiro. Além disso, são considerados uma solução ecológica, pois não são tóxicos para plantas, animais não alvo ou seres humanos.

Principais fungos utilizados

Entre os fungos entomopatogênicos e extratos vegetais mais utilizados na agricultura, destacam-se *B. bassiana* e *C. fumosorosea*. Esses fungos são conhecidos por sua eficiência no controle de diversas pragas em diferentes tipos de culturas, inclusive na citricultura. *Beauveria bassiana* tem sido utilizado no controle de diversas pragas, tais como a mosca-branca *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) (Hemiptera: Aleyrodidae), o psilídeo-dos-citros *Diaphorina*

citri Kuwayama, 1908 (Hemiptera: Psyllidae) e o ácaro-rajado *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Trombidiformes: Tetranychidae). Sua capacidade de infectar uma ampla gama de insetos e ácaros, aliada à facilidade de aplicação, torna-o uma escolha popular para o controle biológico em diversas culturas. Além de *B. bassiana*, *C. fumosorosea* tem apresentado elevada eficiência no controle de moscas-brancas, pulgões e do psilídeo-dos-citros.

Modo de ação dos fungos entomopatogênicos

O modo de ação dos fungos entomopatogênicos baseia-se em um processo de infecção ativa que independe da ingestão pelo hospedeiro. A infecção inicia-se com a adesão dos conídios à cutícula do inseto, favorecida por interações físico-químicas específicas entre a parede celular do fungo e os componentes da epicutícula do hospedeiro. Após a adesão, ocorre a germinação dos conídios, com a formação de estruturas especializadas, como apressórios, que auxiliam na penetração mecânica e enzimática. A penetração ativa é mediada pela secreção de enzimas extracelulares, como quitinases, proteases e lipases, que degradam os principais componentes estruturais da cutícula (quiti-na, proteínas e lipídios). Ultrapassada a barreira cuticular, as hifas invadem o hemocele, disseminando-se sistemicamente. No interior do hospedeiro, o fungo muda para uma forma de crescimento leveduriforme (blastósporos) que permite rápida multiplicação na hemolinfa.

A proliferação fúngica compromete o funcionamento dos órgãos vitais, por competição por nutrientes, obstrução física e produção de metabólitos tóxicos secundários (micotoxinas). Esses fatores culminam na morte do hospedeiro por exaustão fisiológica, septicemia ou toxemia. Após a morte, o fungo pode colonizar externamente o cadáver, formando estruturas reprodutivas que promovem a liberação de novos conídios para infecção de novos hospedeiros (Figura 1). O sucesso do ciclo infeccioso dos fungos entomopatogênicos depende de diversos fatores, incluindo a composição da cutícula do inseto, condições ambientais (umidade relativa, temperatura e radiação ultravioleta - UV) e a virulência intrínseca do isolado fúngico utilizado.

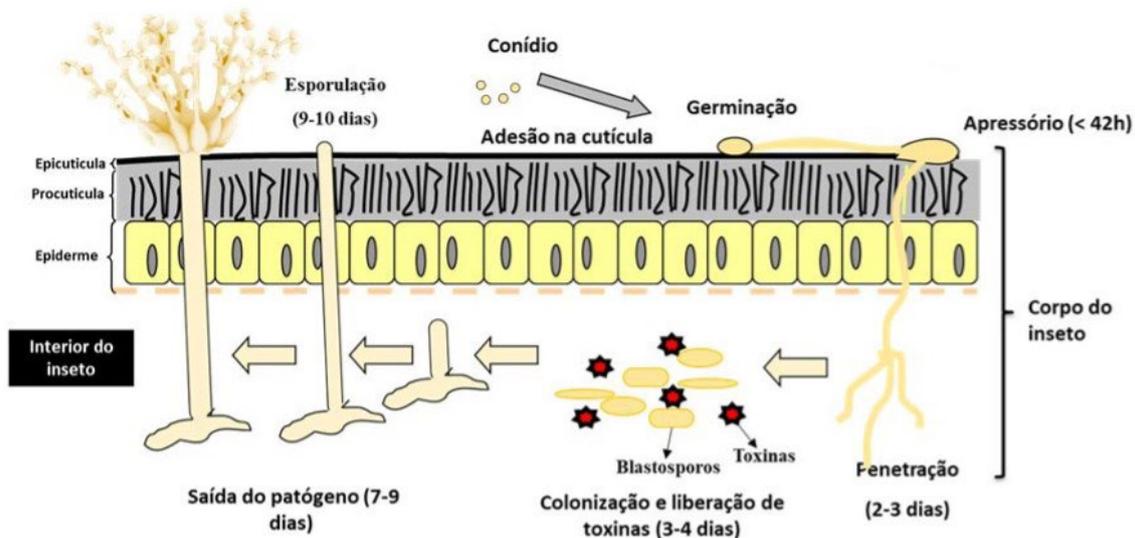


Figura 1

Representação esquemática do mecanismo de ação de fungos entomopatogênicos para controle de mosca-branca (*Bemisia tabaci*) (Adaptado de Mascarin e Jaronski, 2016).

Aplicação de fungos entomopatogênicos e extratos vegetais nos citros

O uso de fungos entomopatogênicos e extratos vegetais no controle de pragas em pomares de citros tem se consolidado como uma alternativa viável para o manejo sustentável e eficaz de diversas pragas. Atualmente, a citricultura enfrenta um grande número de pragas e

doenças que comprometem tanto a produtividade quanto a qualidade do produto final. A seguir serão apresentados alguns resultados de pesquisa com produtos biológicos e naturais no controle de pragas dos citros.

Tripes-dos-citros *Frankliniella* sp. (Thysanoptera: Thripidae)

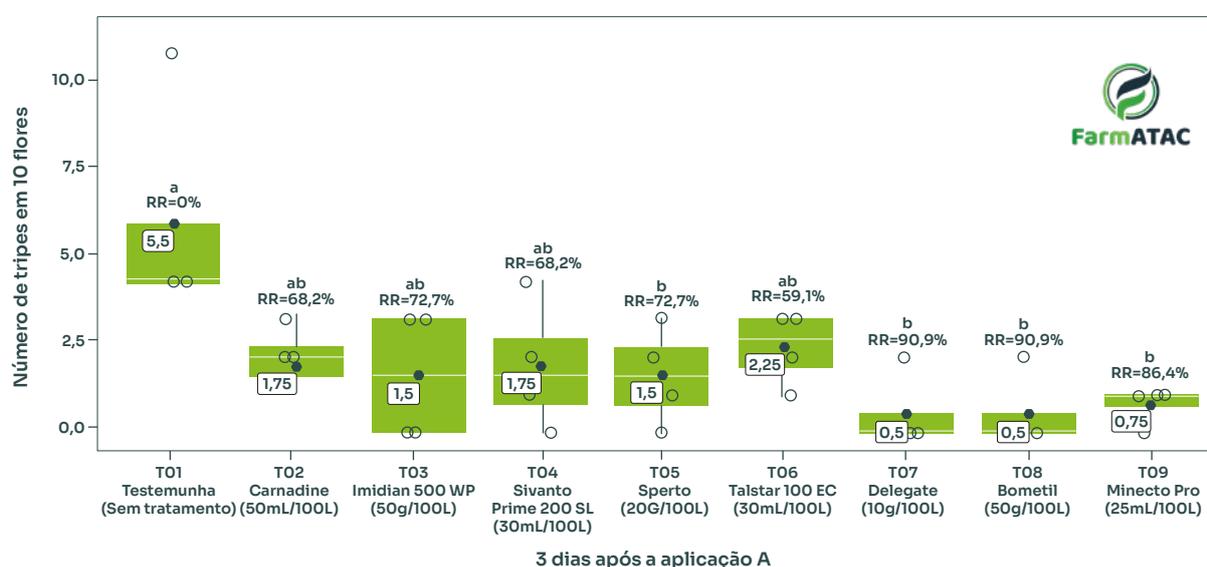


Figura 2

Eficácia do uso de *Beauveria bassiana* isolado IBCB 66 (mínimo de $4,3 \times 10^8$ UFC/g) + *Metarhizium anisopliae* isolado IBCB 425 (mínimo de $3,2 \times 10^8$ UFC/g) (Bometil®), no controle de tripes-dos-citros, em condições de infestação natural a campo. RR=redução relativa ao controle (%).

Psilídeo-dos-citros (*Diaphorina citri*)

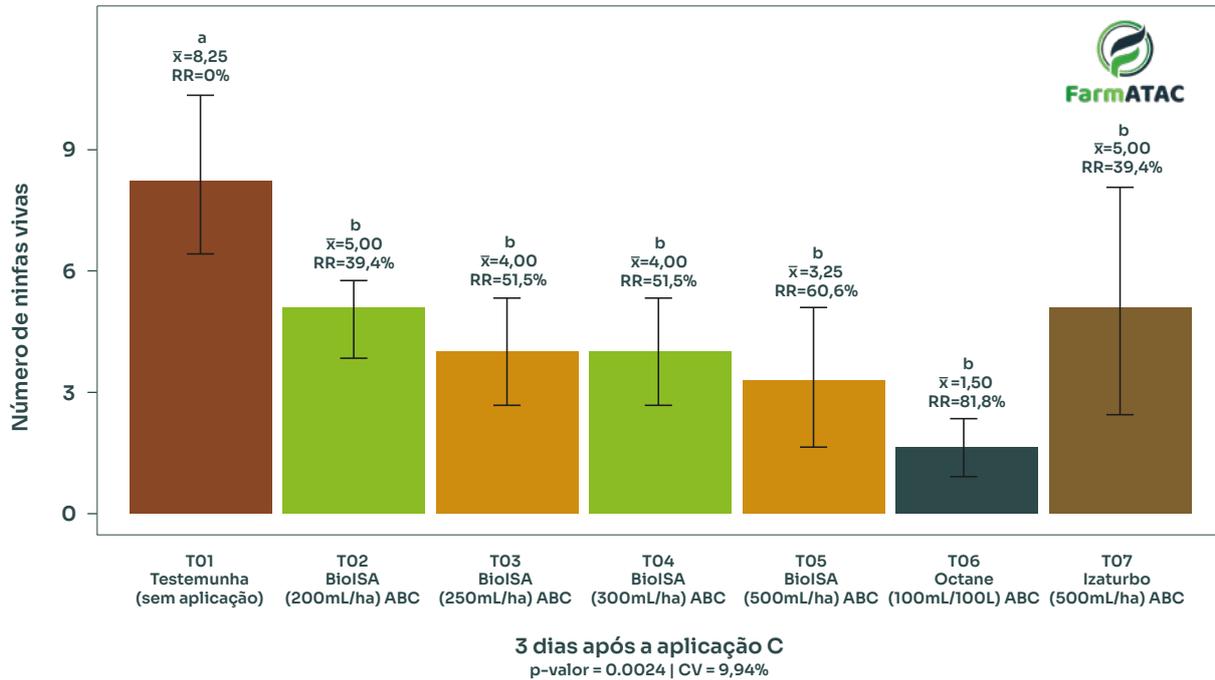


Figura 3

Eficácia da *Cordyceps fumosorosea* cepa ESALQ-3422 1×10^9 conídios/mL (Octane®) no controle do psilídeo-dos-citros, em condições de infestação artificial à campo.

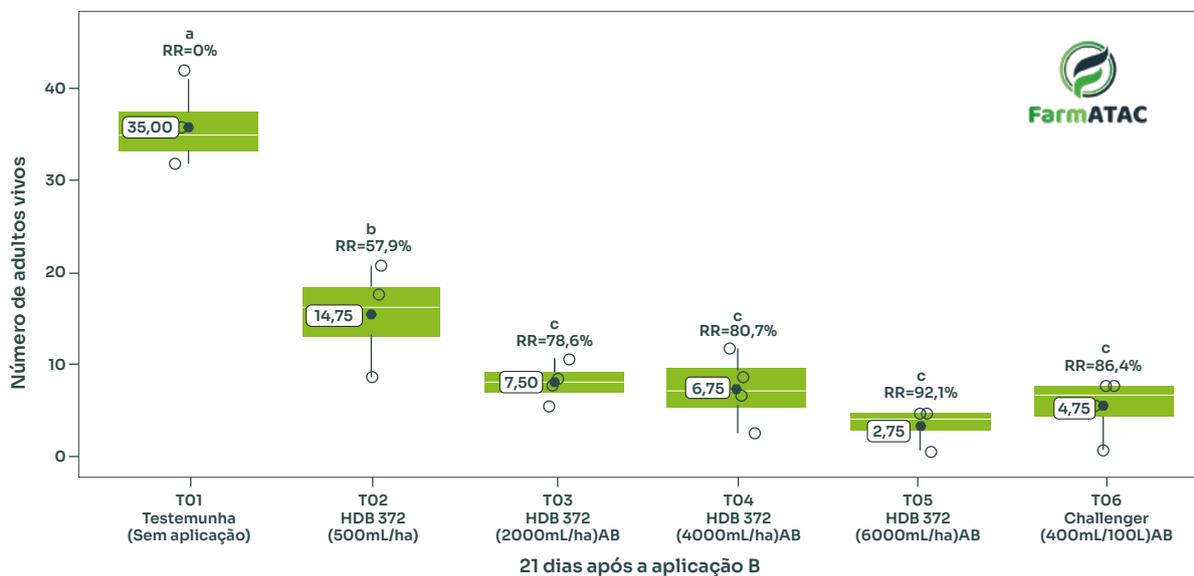


Figura 4

Eficácia do extrato vegetal à base de *Clitoria ternatea* 400 g/L e *Cordyceps fumosorosea* cepa ESALQ-3422 1×10^9 conídios/mL (Challenger®) no controle do psilídeo-dos-citros, em condições de infestação artificial à campo. RR=redução relativa ao controle (%).

09 - RESULTADOS DE PESQUISA SOBRE O USO DE PRODUTOS BIOLÓGICOS NO MANEJO DE PRAGAS DOS CITROS

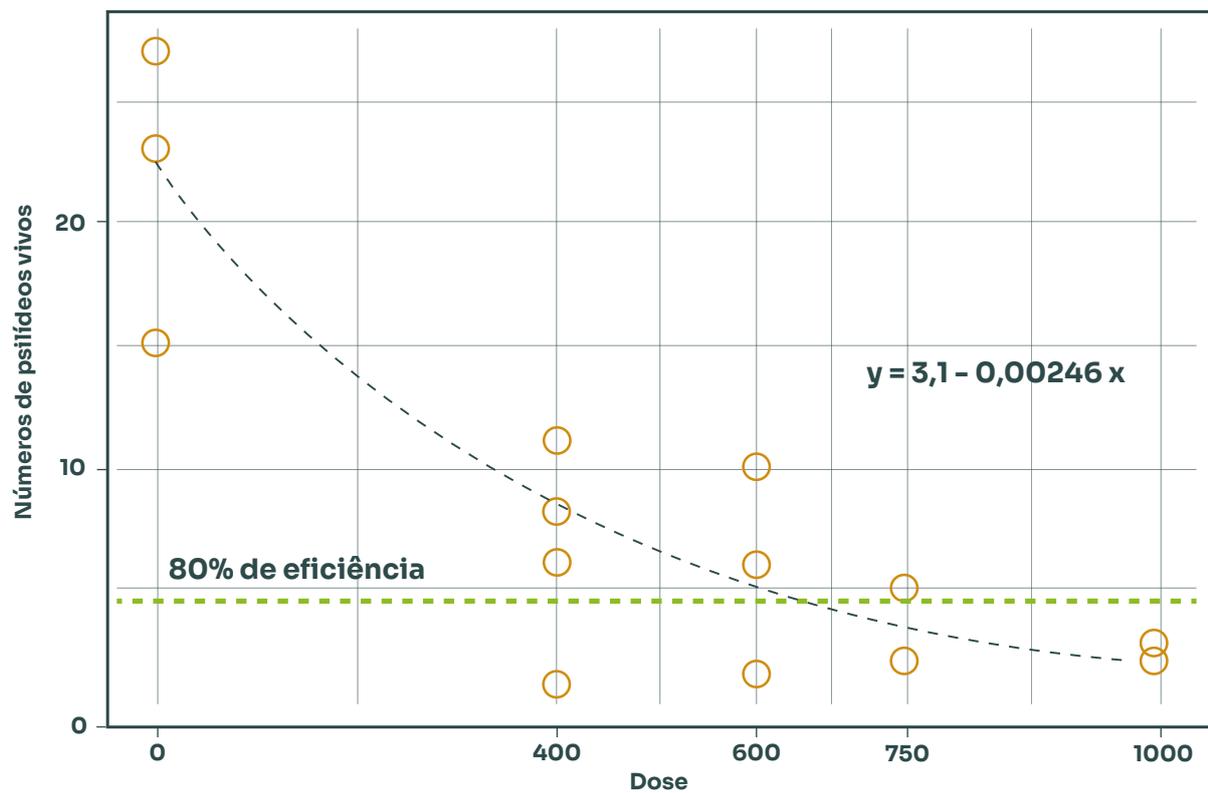


Figura 5

Efeito do incremento de dose da *Beauveria bassiana* (cepa ANTO3 - mínimo de 1×10^9 conídios/g) sobre o número de psídeo-dos-citros vivos 7 dias após a terceira aplicação, em condições de infestação artificial à campo.

Cochonilha escama-farinha *Unaspis citri* (Comstock, 1883) (Hemiptera: Diaspididae)

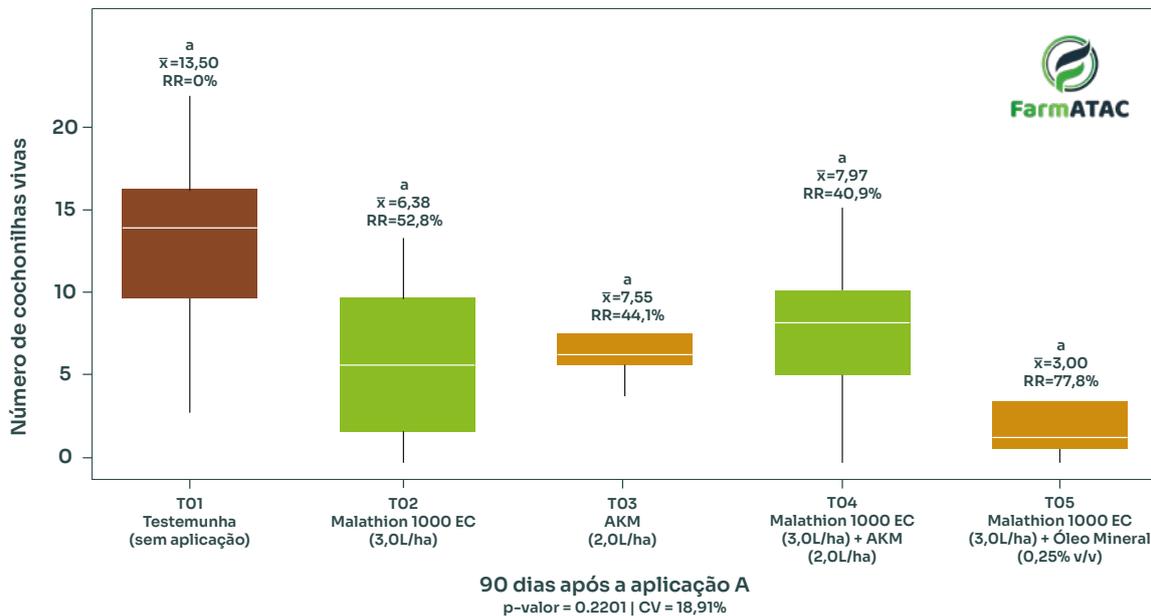


Figura 6

Associação de agrotóxico tradicional com extrato vegetal no controle da cochonilha escama-farinha, em condições de infestação natural à campo. RR=redução relativa ao controle (%).

Ácaro-mexicano *Tetranychus mexicanus* (McGregor, 1950) (Trombidiformes: Tetranychidae)

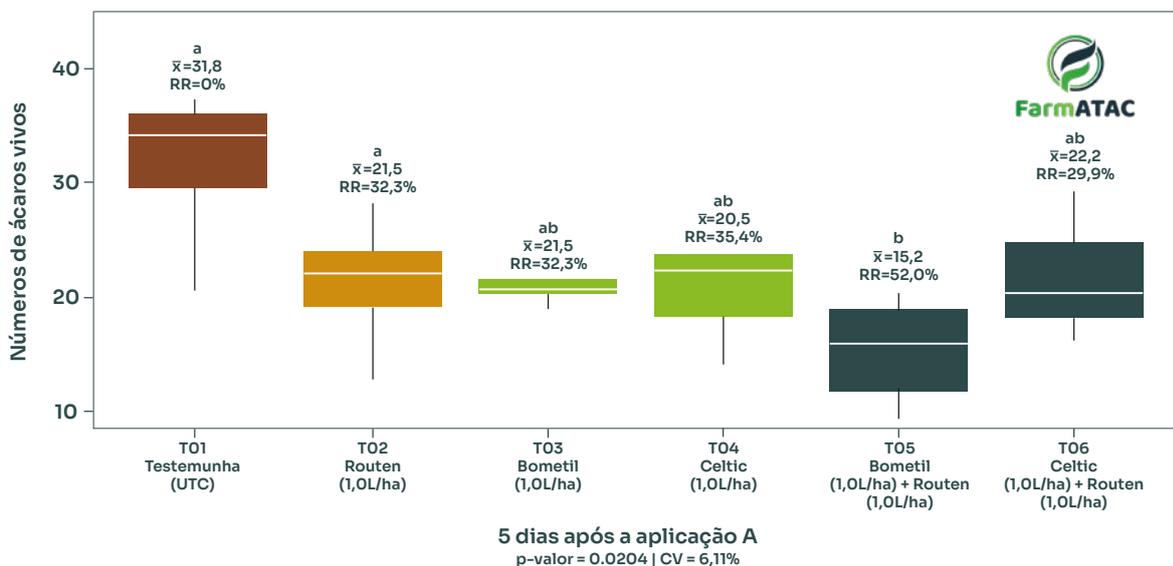


Figura 7

Eficácia da associação de dois fungos entomopatogênicos *Beauveria bassiana* isolado BALL 6-2 (mínimo $3,0 \times 10^9$ UFC/g) + *Cordyceps javanica* (Bally) Kepler, B. Shrestha & Spatafora Isolado URM 7662 (mínimo $1,6 \times 10^8$ UFC/g) (Celtic®); *B. bassiana* isolado IBCB 66 (mínimo de $4,3 \times 10^8$ UFC/g) + *Metarhizium anisopliae* isolado IBCB 425 (mínimo de $3,2 \times 10^8$ UFC/g) (Bometil®) e de extrato vegetal (Routen®) no controle do ácaro-mexicano *Tetranychus mexicanus* 5 dias após a aplicação, em condições de infestação natural à campo. RR=redução relativa ao controle (%).

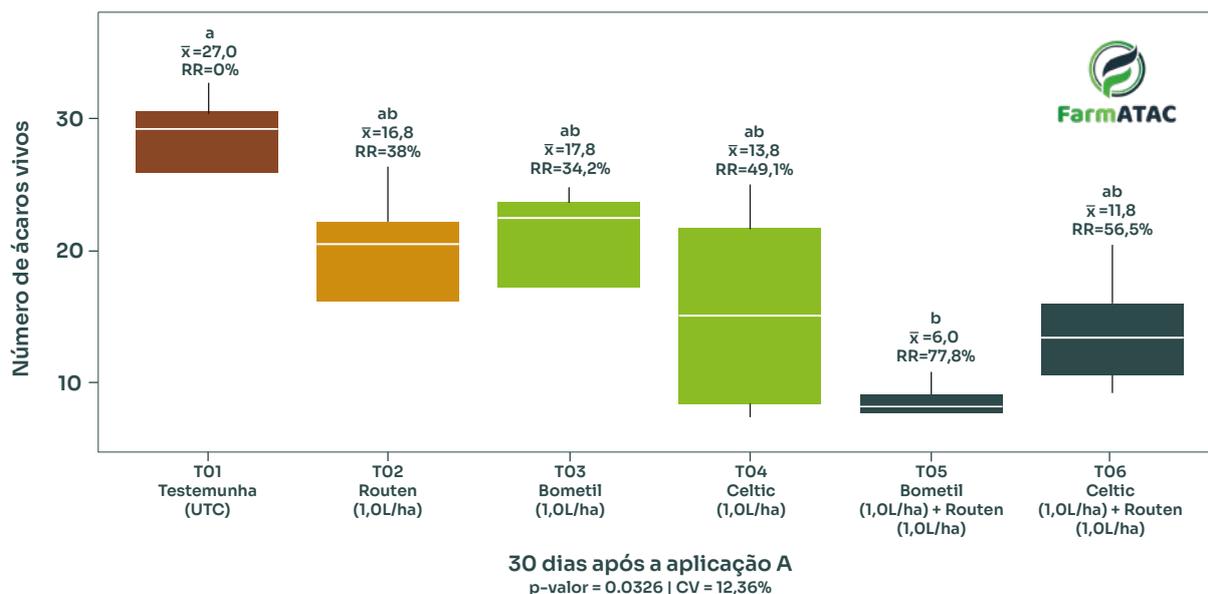


Figura 8

Eficácia da associação de dois fungos entomopatogênicos *Beauveria bassiana* isolado BALL 6-2 (mínimo $3,0 \times 10^9$ UFC/g) + *Cordyceps javanica* (Bally) Kepler, B. Shrestha & Spatafora Isolado URM 7662 (mínimo $1,6 \times 10^8$ UFC/g) (Celtic®); *B. bassiana* isolado IBCB 66 (mínimo de $4,3 \times 10^8$ UFC/g) + *Metarhizium anisopliae* isolado IBCB 425 (mínimo de $3,2 \times 10^8$ UFC/g) (Bometil®) e de extrato vegetal (Routen®) no controle do ácaro-mexicano *Tetranychus mexicanus* 30 dias após a aplicação, em condições de infestação natural à campo.

Desafios e considerações sobre o uso de fungos entomopatogênicos e extratos vegetais

Embora o uso de fungos entomopatogênicos e extratos vegetais seja uma ferramenta promissora, ainda existem desafios a serem superados para sua plena adoção na citricultura. Pouco se sabe sobre como a presença de outros microrganismos patogênicos ou competidores que podem reduzir a eficiência dos fun-

gos entomopatogênicos. O controle biológico com fungos pode ser mais lento em comparação com os pesticidas químicos, exigindo planejamento cuidadoso, assim como avaliar a associação com outras estratégias de controle. Alguns pontos são importantes na avaliação de uso e eficiência do controle biológico.

Condições ambientais

Um dos principais fatores que influenciam a eficiência dos fungos entomopatogênicos é a sua viabilidade em diferentes condições ambientais. A eficácia desses agentes biológicos está intimamente ligada à manutenção da viabilidade dos conídios após a aplicação. A exposição à radiação UV pode destruir os conídios de fungos entomopatogênicos, especialmente em re-

giões de clima quente e com alta exposição solar. Para mitigar esse problema, pode ser necessário o uso de formulados que protejam os conídios da radiação UV ou a aplicação em horários do dia em que a radiação solar é mais baixa (como ao amanhecer ou no final da tarde).

Temperaturas extremas, tanto altas quanto baixas, podem comprometer a germinação e o desenvolvimento dos conídios. Em ambientes muito quentes (>30°C), a taxa de mortalidade dos conídios aumenta, enquanto temperaturas muito baixas podem inibir o crescimento do fungo. A aplicação desses agentes biológicos deve ser cuidadosamente planejada para coincidir com as condições climáticas ideais. Fungos entomopatogêni-

cos requerem alta umidade relativa para germinação e crescimento. Em regiões secas ou durante períodos de estiagem, a umidade do ambiente pode ser insuficiente para a ativação dos conídios, reduzindo a eficácia do controle biológico. O uso de irrigação ou o controle de umidade no ambiente de cultivo pode ser necessário para garantir o sucesso da aplicação.

Custo e adoção pelo produtor

Embora os fungos entomopatogênicos e os extratos vegetais apresentem uma série de benefícios ambientais e econômicos, a adoção dessa tecnologia pode ser limitada por questões econômicas e logísticas. Os fungos entomopatogênicos e extratos vegetais, especialmente em formulações de alta qualidade, podem ter um custo inicial mais elevado em comparação com agrotóxicos químicos tradicionais. O investimento inicial em produtos biológicos pode ser um obstáculo para pequenos produtores ou em regiões onde o controle químico ainda é predominante.

Para o sucesso da aplicação de fungos entomopatogênicos e extratos vegetais, é necessário que os produtores compreendam as especificidades do uso desses produtos, como a forma de aplicação e o controle das condições ambientais. A falta de conhecimento técnico e a necessidade de treinamento podem dificultar a adoção de controle biológico em larga escala. Por exemplo, como apresentado na Figura 9, variações no volume de calda podem ser cruciais para melhor desempenho dos produtos biológicos.

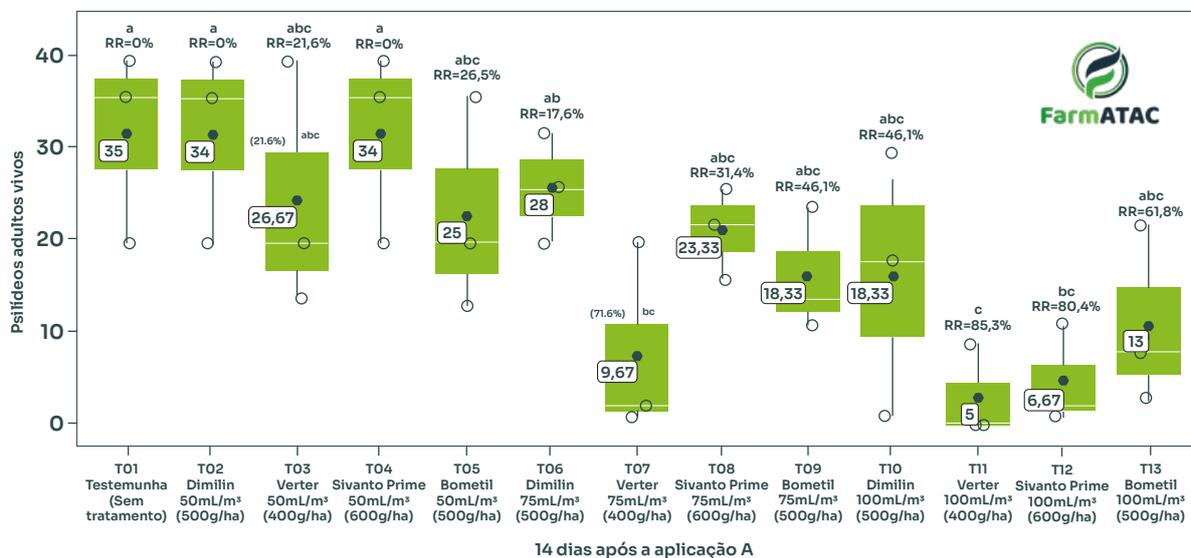


Figura 9

Variação do volume de calda na aplicação de *Beauveria bassiana* isolado IBCB 66 (mínimo de $4,3 \times 10^8$ UFC/g) + *Metarhizium anisopliae* isolado IBCB 425 (mínimo de $3,2 \times 10^8$ UFC/g) (Bometil®) sobre o controle do psilídeo-dos-citros, em condições de infestação artificial à campo.

Perspectivas futuras e das pesquisas

O futuro do controle biológico na citricultura é promissor. A pesquisa contínua sobre a genética dos fungos, suas interações com pragas e o desenvolvimento de novos métodos de aplicação têm ampliado as possibilidades de uso. Além disso, a crescente demanda por práticas agrícolas sustentáveis e a pressão para reduzir o uso de produtos químicos tornam os fungos entomopatogênicos e os extra-

tos vegetais opções cada vez mais atrativas. Apesar das limitações, os avanços na pesquisa com fungos entomopatogênicos e extratos vegetais têm gerado informações técnicas relevantes. O aumento do interesse por práticas agrícolas sustentáveis deve impulsionar ainda mais a adoção de métodos de controle biológico como parte integrante das estratégias de manejo de pragas.

Referências

- Alves SB, Lopes RB (2008) **Controle Microbiano de Insetos**. 2nd ed. FEALQ, Piracicaba, 1163 p.
- Bidochka MJ, Humber RA (2016) Regulation, production, and application of entomopathogenic fungi for pest control. **Applied Microbiology and Biotechnology** 100(12):4867-4873.
- Charnley AK, Collins SA (2005) Entomopathogenic fungi and their role in pest control. In: Gilbert LI, Iatrou K, Gill SS (eds) **Comprehensive Molecular Insect Science**. Elsevier, Oxford, pp 159-187.
- Inglis GD, Goettel MS, Butt TM, Strasser H (2001) Use of hyphomycetous fungi for managing insect pests. In: Butt TM, Jackson CW, Magan N (eds) **Fungi as Biocontrol Agents**. CABI Publishing, Wallingford, pp 23-69.
- Lacey LA, Grant GG (2019) The future of microbial control: trends in the use of fungi as biological control agents. **Journal of Invertebrate Pathology** 165:74-82.
- Leite LG, Batista Filho A (2020) **Fungos entomopatogênicos: produção, formulação e aplicação no controle de pragas agrícolas**. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, 104 p.
- Mascarin GM, Jaronski ST (2016) The production and uses of *Beauveria bassiana* as a microbial insecticide. **World Journal of Microbiology and Biotechnology** 32:177.
- Manning P, Sladen SE, Budge GE (2017) Impact of entomopathogenic fungi on non-target pollinators: risks and implications for biocontrol. **Biological Control** 107:104-114.
- Moraes AML, Queiroz AP, Polanczyk RA (2019) Eficiência de fungos entomopatogênicos no controle da *Diaphorina citri* em pomares cítricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 54(3):199-207.
- Schneider S, De La Rosa W, Schmid-Hippler S, Kramer P (2021) Advances in formulation of entomopathogenic fungi for insect pest control. **Pest Management Science** 77:3755-3764.
- Wraight SP, Ramakrishnan R, Carruthers RI (2019) Influence of environmental factors on the efficacy of fungal biopesticides. **Mycopathologia** 185:217-232.

10

Compatibilidade na citricultura: mistura em tanque em termos aplicados

Rogério Teixeira Duarte¹
Ricardo Antônio Polanczyk²

📍 ¹Universidade de Araraquara (UNIARA),
Araraquara, São Paulo, Brasil

✉️ rogerio.tduarte@yahoo.com.br

📍 ²Departamento de Fitossanidade, FCAV-UNESP,
Jaboticabal-SP

✉️ r.polanczyk@unesp.br

Introdução

A citricultura brasileira, em especial, o cultivo de laranja na região sudeste, concentra mais de 70% da produção nacional, o que corresponde a 223,14 milhões de caixas de 40,8 kg (Fundecitrus, 2024a). Deste total, o estado de São Paulo possui 63,4% das áreas produtivas de laranja do território nacional e, em termos globais, o Brasil detém um valor da produção agrícola em torno de R\$ 20 bilhões (IBGE, 2023).

Entretanto, um dos fatores muito importantes no que tange à citricultura nacional condiz na manutenção da produtividade dos pomares citrícolas, haja vista que os desafios de ordem fitossanitária e climáticos constituem os principais gargalos responsáveis pela redução da produtividade das áreas de citros brasileiras. Salienta-se que as perdas de produção, caracterizadas pela queda prematura dos frutos, constituiu em aproximadamente 72 milhões de caixas, sendo que a principal causa quanto a redução na produção de frutos é de ordem fitossanitária, com destaque a doença comumente conhecida como Huanglongbing (HLB) ou greening, causada por bactérias fitopatogênicas *Candidatus Liberibacter* spp., respondendo por cerca de 8,35%, correspondente a 32 milhões de caixas de laranja (Fundecitrus, 2024b).

A disseminação desta doença no campo se dá através de um inseto vetor, comumente conhecido como psilídeo-dos-citros *Diaphorina citri* Kuwamura, 1908 (Hemiptera: Psyllidae). Este inseto de origem asiática, relatado no Brasil na década de 1940, é uma das principais pragas da citricultura desde 2004, correspondente ao primeiro relato do HLB no Brasil (Gallo et al., 2002; Parra et al., 2010; Miranda, 2022).

Além do HLB, outros desafios de ordem fitossanitária também se apresentam de grande relevância quanto à redução na produção de laranja no Brasil, e que, conforme Fundecitrus (2024b), houve perdas estimadas em 19 milhões de caixas de laranja relacionadas ao ataque de *Gymnandrosoma aurantianum* Lima, 1927 (Lepidoptera: Tortricidae), comumente conhecido como bicho-furão e também ao ataque das moscas-das-frutas *Anastrepha* spp. e *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1830) (Diptera: Tephritidae).

Além destes desafios da citricultura brasileira, responsáveis pela redução na produção de frutos, destacam-se duas doenças fitossanitárias, a pinta preta, *Phyllosticta citricarpa* (McAlpine) Aa, e o cancro cítrico, *Xanthomonas citri* subsp. *citri* (ex Hasse, 1915), que são responsáveis por 1,50 e 0,33% das quedas prematuras de frutos, respectivamente. A leprose dos citros, cujo agente causal é o vírus *Citrus leprosis virus* (CiLV-C), transmitido pelo ácaro-da-leprose *Brevipalpus yothersi* Baker, 1949 (Trombidiformes: Tenuipalpidae), causou queda prematura de frutos na ordem de 0,53% (Fundecitrus, 2024b).

Em termos gerais, é evidente que a citricultura brasileira apresenta inúmeros desafios fitossanitários relacionados ao ataque de pragas e doenças, os quais foram responsáveis por mais de 15% da queda prematura de frutos na safra de 2023/2024 (Fundecitrus, 2024b). Dessa forma, o manejo constante se faz necessário, visando justamente minimizar a taxa de perdas de frutos e, conseqüentemente, a redução da produção e da produtividade dos pomares citrícolas brasileiros.

Manejo de pragas e doenças na citricultura

Na citricultura brasileira, o manejo de pragas e doenças é conduzido, na maioria dos casos, por pulverizações tratorizadas, por intermédio da aplicação de produtos fitossanitários, normalmente balizando-se via método de controle químico, orientado por aplicações de inseticidas, fungicidas e acaricidas específicos a cada praga/doença. Importante salientar que o método de controle biológico, com utilização de predadores, parasitoides e agentes de controle microbiano, tem se apresentado em constante crescimento na citricultura (Parra et al., 2022), embora ainda de forma lenta quando comparado a outros cultivos agrícola de grande expressão nacional (Gravena, 2011). Os agentes de controle microbiano normalmente são aplicados via pulverização foliar, da mesma forma como tem sido conduzida as demais aplicações fitossanitárias nas propriedades citrícolas, podendo apresentar alguns detalhes técnicos específicos, dependendo de cada situação.

Um outro desafio de grande relevância para a citricultura está relacionado a questão nutricional, em que o fertilizante constitui um dos principais insumos necessários à produção citrícola, como forma de atender

adequadamente a demanda de nutrientes para o pleno crescimento e desenvolvimento da cultura, sendo a adubação foliar uma importante estratégia, principalmente no que tange a pomares de alta produtividade, haja vista que o manejo nutricional adequado é essencial para a manutenção de níveis elevado de produção (Centro de Citricultura, 2013).

Atrelado a questão nutricional dos pomares citrícolas, muitas propriedades têm direcionado ao uso de aditivos especiais, conjuntamente as fórmulas nutricionais, podendo apresentar substâncias bioestimulantes, classificadas como misturas de biorreguladores ou mistura de um ou mais biorreguladores com outros compostos de natureza química diferentes (Macedo e Castro, 2015). Estes produtos, além da ação nutricional, podem proteger as plantas e atuar como agentes antiestressantes, pois afetam o sistema antioxidante das plantas, aumentando a sua tolerância às condições ambientais adversas e melhoram a capacidade de recuperação após o estresse, sendo então possível incrementar ou manter a produção das plantas, mesmo sob condições não ideais de cultivo (Carvalho e Castro, 2014).

A mistura em tanque como estratégia de manejo na citricultura

Pelo exposto anteriormente, a calda de pulverização para o manejo de pragas e doenças na citricultura é composta não somente por produtos de ordem nutricional e bioestimulantes, mas também por produtos de ordem fitossanitária e compostos químicos que melhorem a performance destes produtos, caracterizados como adjuvantes.

A eficiência de pulverização está intimamente relacionada a diferentes fatores e que, quando organizados corretamente, permitem que a calda de pulverização consiga atingir o alvo de maneira correta, sem desperdício, com mínimo de possibilidade quanto à contaminação ambiental e do operador da máquina, garantindo

assim maior segurança ao trabalhador. Entretanto, ao analisar o alvo, e entendendo a quantidade de produtos de ordem química que são adicionados em um tanque de pulverização, para justamente otimizar a aplicação, muitas vezes surge o questionamento quanto à eficácia da mistura destes produtos e sua real funcionalidade na aplicação, levantando dúvidas acerca da compatibilidade química entre estes compostos.

Em termos práticos, caso existam informações a respeito da compatibilidade dos componentes químicos a serem utilizados em determinada calda fitossanitária, considera-se inicialmente a adição de metade do volume de água, dependendo da capacidade do tanque de

pulverização, para posteriormente adicionar os adjuvantes, seguido da adição da segunda parte de água no tanque e, posterior a isso, realizar as entradas dos demais produtos, na maioria dos casos direcionadas em pré-mistura. Nesta sequência, recomenda-se iniciar com os produtos líquidos com formulação de concentrado emulsionável, seguindo para formulação de grânulos dispersíveis em água, com exceção de cobre e enxofre, seguido por produtos com formulação em pó molhável (exceto cobre e enxofre); produtos líquidos com formulação de suspensão concentrada; produtos relacionados a nutrição foliar; fungicidas (cúpricos e os de formulação grânulos dispersíveis em água, pó molhável e líquidos); acaricidas à base de enxofre nas formulações grânulos dispersíveis em água, pó molhável e líquidos; e, por fim, a adição de produtos à base de óleo mineral ou vegetal (Gazziero et al., 2021).

Dentro desta premissa é muito importante se orientar ou buscar informações junto as empresas fabricantes, mas também em pesquisas científicas, quanto as questões voltadas a compatibilidade destes produtos químicos quando em mistura com outros componentes, pois no processo de formação da calda fitossanitária, a partir da mistura de um ou mais compostos químicos, poderá causar reações entre eles, com consequente modificação da estrutura química da molécula. Desta forma, pode inviabilizar a ação de determinado produto sobre o alvo ou afetar a disponibilidade nutricional para a planta.

Ademais, um outro ponto que deve-se levar em consideração, compete ao uso crescente de entomopatógenos na citricultura, representado principalmente por bactérias e fungos responsáveis por auxiliarem no manejo de pragas e doenças do cultivo de citros, porém, o veículo para chegada ao alvo é o mesmo utilizado com produtos de ordem química, direcionado conjuntamente na calda fitossanitária e que, desta forma, no processo de mistura, poderá acometer na inviabilidade de determinado entomopatógeno, caso o mesmo apresente incompatibilidade com alguma molécula química adicionada no tanque de pulverização.

Desta forma, a evolução das pesquisas quanto aos estudos voltados ao pleno entendimento da compatibilidade dos entomopatógenos com produtos de origem química se configura de extrema valia, visando justamente entender se porventura existe uma relação entre determinado microrganismo entomopatogênico quando em contato com moléculas químicas, nas quais poderá acarretar em três possíveis situações: não apresentar nenhum efeito sobre o entomopatógeno; apresentar um efeito tóxico sobre o microrganismo benéfico, ou seja, incompatibilidade de utilização conjunta destas duas estratégias; e também a ação sinérgica ou potencializadora de determinada molécula química sobre o entomopatógeno, sendo este último o menos usual na prática.

Salienta-se então que, o uso de microrganismos entomopatogênicos na citricultura também deve estar baseado na ciência e no correto uso das técnicas agronômicas e que, quando da mistura com outros compostos químicos, deve-se nortear acerca da compatibilidade entre os mesmos, e, caso haja algum entreposto frente a aplicação conjunta destas estratégias, as opções mais óbvias seriam a possível substituição do produto químico por outro que apresente compatibilidade com o entomopatógeno, mas também a possibilidade de se realizar uma aplicação em separado do microrganismo ou mesmo direcionar o uso deste entomopatógeno para outro momento, caso haja possibilidade.

É importante ressaltar a necessidade constante de evolução no que tange pela busca de informações quanto a atual compatibilidade dos produtos comerciais utilizados na citricultura brasileira, visando ao manejo fitossanitário e nutricional do cultivo de citros, o que, desta forma, permeia a novas oportunidades quanto à condução de pesquisas voltadas a entender as possíveis dúvidas futuras frente ao uso de diferentes moléculas químicas, mas também a relação entre determinados elementos químicos de ordem fitossanitárias e também nutricional quanto compatibilidade com microrganismos entomopatogênicos.

Métodos de avaliação da compatibilidade

O resultado da mistura em tanque pode ser aditivo, quando a eficiência do produto é igual ou similar a individual, sinérgico, quando um produto aumenta a eficiência do outro e antagônico, quando um produto interfere negativamente na eficiência do outro. As duas primeiras situações determinam a compatibilidade e a terceira a incompatibilidade (Sirvi et al., 2013). Estudos em laboratório de compatibilidade são importantes para prever a compatibilidade em campo, uma vez que evita o desperdício de tempo e recursos e otimiza as operações agrícolas.

A compatibilidade física entre os agrotóxicos pode ser avaliada pelo “teste da jarra”, que consiste em adicionar em um recipiente com água os produtos a misturar, de acordo com o tipo de formulação e na mesma diluição de campo, assim: 1) grânulos dispersíveis, pós-molháveis e suspensões concentradas; 2) concentrados emulsionáveis e formulações oleosas; 3) produtos solúveis em água; 4) agentes molhantes; 5) completar o volume de água. Deve-se deixar em repouso por duas horas e verificar, então, a incompatibilidade física. A decantação de alguns produtos flutuantes ou em pó é normal; mas, caso exista dificuldade em “ressuspender” tais produtos, deve-se agitar a calda durante a aplicação (AENDA, 2025).

Compatibilidade de produtos no manejo de pragas na citricultura

De acordo com Moreira e Nascimento (2002), o hexitiazox isoladamente tem uma eficácia de cerca de 80% no controle de *Aceria guerreronis* Keifer (Acari: Eriophyidae), um ácaro presente em coqueiro. No entanto, a associação de hexitiazox com abamectina, fenpiroximato e enxofre aumentou a eficiência em 86, 96 e 100%, respectivamente. A eficiência em laboratório da mistura de dicofol com fenpiroximato causou mais de 75% de mortalidade em populações suscetíveis e resistentes de *Brevipalpus yothersi* Baker (Acari: Tenuipalpidae) (Alves et al., 2000).

A compatibilidade biológica e seu efeito no controle de pragas é mais complexa de se avaliar. O efeito da interação dos agrotóxicos e os entomopatógenos pode variar em função da espécie/linhagem do patógeno, da natureza química dos produtos e das doses utilizadas. Essa interação pode inibir o crescimento vegetativo e a esporulação dos microrganismos, e até mesmo causar mutações genéticas. Além disso, a presença de emulsificantes e outros inertes podem influenciar essa compatibilidade (Batista Filho et al., 2001).

Os estudos de compatibilidade de produtos químicos com bioinseticidas são normalmente feitos usando ensaios in vitro que avaliam o crescimento vegetativo ou sobrevivência do microrganismo e são projetados para simular os tipos de exposição que ocorrem no campo (Schumacher e Poehling, 2012; Ribeiro et al., 2012). Entretanto, nos testes in vitro não preveem alguns aspectos que influenciam a mistura em tanque, como por exemplo, a deriva, diminuição gradativa da concentração do produto em função de fatores abióticos, ou mesmo a deposição irregular do produto no campo (Rossi-Zalaf et al., 2008).

Della Vechia et al. (2019) avaliaram a compatibilidade físico-química de misturas de acaricidas (espiroclifeno, propargito e ciflumetofem) e os inseticidas mais utilizados nos pomares de citros, bem como o seu efeito sobre *B. yothersi*. A mistura de inseticidas com acaricidas como o espiroclifeno, o propargito e o ciflumetofem não interferiu na estabilidade físico-química das misturas em tanque. No entanto, a combinação de imidacloprido, bifentrina, cipermetrina e fosmete com espiroclifeno reduziu a eficiência de controle dos ácaros em 20,9%, 18,9%, 9,7%

e 21,9%, respectivamente. Os autores ressaltaram que estas misturas não são recomendadas para o controle de *B. yothersi*.

Alves et al. (2022), ressaltaram que a calda sulfocálcica é um dos poucos produtos indicados para o controle do *B. yothersi* em pomares de citros orgânicos brasileiros. Outras estratégias, segundo os autores, como o uso de fungos entomopatogênicos necessitam ser avaliadas. *Lecanicillium muscarium* (Petch) Zare e W.Gams (Hypocreales: Cordycipitaceae) destaca-se como uma estratégia promissora para o manejo de pragas, mas o conhecimento das interações entre a calda sulfocálcica e o fungo é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de controle. Com esse objetivo, os autores avaliaram o efeito da calda sulfocálcica sobre *B. yothersi* e estudaram a compatibilidade com *L. muscarium*. Além disso, foram avaliados os efeitos das misturas de *L. muscarium* com calda sulfocálcica no controle de *B. yothersi*.

A avaliação do efeito sobre *B. yothersi* foi realizada por meio de bioensaio de contato direto e residual, com diferentes concentrações de calda sulfocálcica misturadas em meio de cultura batata dextrose e ágar (BDA). Além disso, diferentes concentrações de calda sulfocálcica foram usadas para avaliar a compatibilidade com *L. muscarium*. A calda sulfocálcica foi eficaz contra adultos de *B. yothersi* e causou a inviabilidade dos ovos em até 71,0% com uma dose de 80 litros de calda sulfocálcica diluídos em 2.000 litros de água. A concentração letal (CL_{50} e CL_{99}) de calda sulfocálcica estimada para adultos do ácaro foi de 246,62 e 858,5 μg de calda sulfocálcica por mL de água. Os autores concluíram que as concentrações de calda sulfocálcica de 180 a 560 ppm mostraram-se promissoras para uso em combinação com *L. muscarium*. No entanto, as concentrações de 1.000 e 5.600 ppm reduziram significativamente o tamanho da colônia e o número de esporos/colônia. A mistura de 100 e 180 ppm de calda sulfocálcica com *L. muscarium* (10^8 conídios.mL⁻¹) não foi capaz de reduzir o tempo letal do entomopatógeno sobre

B. yothersi.

Além das misturas de inseticidas com acaricidas, fertilizantes foliares misturados com acaricidas aplicados em diferentes cultivares de plantas, incluindo cítricos, reduziram os custos de aplicação. No entanto, a eficiência no controle do ácaro-da-leprose em citros foi menor com a mistura de propargito com enxofre (Gandini et al., 2020). Por outro lado, a mistura de glifosato com ureia e sulfato de amônio potencializou o efeito deste herbicida, com resultados positivos para o controle de plantas daninhas (Li et al., 2012).

Quanto à compatibilidade de produtos químicos e biológicos, Avery et al. (2013) ressaltaram que o fungo entomopatogênico *Isaria fumosorosea* Wise pode ser usado no controle do psilídeo-asiático-dos citros (*D. citri*), com impacto mínimo sobre os artrópodes benéficos. Entretanto, a sua eficácia pode ser comprometida por produtos fitossanitários usados para controlar outras pragas e doenças da cultura. Os autores avaliaram a compatibilidade dos blastósporos de *C. fumosorosea* com uma série de óleos de pulverização e fungicidas à base de cobre registrados para uso em pomares de citros. Os resultados dos testes em laboratório e em casa de vegetação mostraram diferentes respostas do fungo aos diferentes tratamentos, incluindo compatibilidade e incompatibilidade. De modo geral, o crescimento *in vitro* de *I. fumosorosea* foi menos afetado por materiais à base de petróleo e mais por óleos botânicos e bórax, além de alguns fungicidas à base de cobre. Isto sugere que a mistura em tanque de *I. fumosorosea* com esses últimos produtos deve ser evitada. No entanto, efeitos negativos equivalentes dos tratamentos sobre a patogenicidade dos fungos nem sempre foram observados em psilídeos adultos. Os autores relataram que alguns óleos aumentaram a aderência dos blastósporos à cutícula do inseto, superando os impactos negativos sobre a germinação. É preciso ter cuidado ao selecionar os produtos fitossanitários adequados para a mistura em tanque com formulações comerciais de fungos entomopatogênicos para o manejo de pragas de citros.

Em trabalho semelhante, Kumar et al. (2017) avaliaram o efeito *in vitro* de óleos de petróleo refinados usados em citros com um bioinseticida contendo o fungo entomopatogênico *I. fumosorosea* (PFR-97) em laboratório. Além disso, avaliaram bioensaios com discos de folha para avaliar a eficácia combinada de óleos de petróleo e *I. fumosorosea* contra *D. citri*. Todos os tratamentos com óleo de petróleo foram compatíveis com os blastosporos de *I. fumosorosea*, pois nenhum deles afetou as unidades formadoras de colônias do fungo e o crescimento radial do fungo, medido aos 3, 6, 9 e 12 dias após a inoculação. Todas as misturas tiveram um desempenho melhor do que *I. fumosorosea* aplicado isoladamente no controle de *D. citri*, onde o maior tempo médio de sobrevivência do inseto foi de 12,5 dias. Não foram observadas diferenças significativas no tempo de sobrevivência de *D. citri* e no crescimento de *I. fumosorosea* em cadáveres dos insetos, o que é importante para determinar sua transmissão horizontal, quando misturados com Orchex, Sun Pure, Conoco Blend -2 e JMS. Os óleos em combinação com *I. fumosorosea* poderiam oferecer aos citricultores um tratamento alternativo para integrar os programas de manejo de *D. citri*.

Em pesquisa com outro fungo entomopatogênico, mas de introdução inoculativa, *Aschersonia aleyrodinis* Webber (Hypocreales: Clavicipitaceae), Ingle et al. (2002) descreveram a morfologia do micélio, conídios, aparência da colônia e tipos de estroma. Os autores também realizaram estudos *in vitro* para avaliar a patogenicidade do isolado PDKV de *A. aleyrodinis* contra a mosca-negra-dos-citros *Aleurocanthus woglumi* Ashby, 1915 (Hemiptera: Aleyrodidae) utilizando aplicação tópica. A infecção precoce da mosca-negra pelo fungo foi descrita como estruturas brancas compostas por hifas que se estendiam da área marginal do corpo da ninfa. No final da infecção, os autores observaram pústulas semelhantes camadas de tecido que cobriam todo o corpo da ninfa. No início, as colônias eram brancas e tornaram-se amareladas a alaranjadas com a formação do estroma. Além disso, os autores avaliaram o efeito *in vitro* de onze fungicidas químicos e de sete inseticidas comumente usados em citros, aplicados com a me-

tade das doses recomendadas de campo, sobre o crescimento micelial de *A. aleyrodinis*. O crescimento micelial radial máximo foi alcançado com o mancozebe, ou seja, 4,3 cm e 1,8 cm, enquanto carbendazim, fosetil AI, carbendazim + mancozebe (mistura de produtos) e tebuconozol + trifloxistrobina (mistura de produtos) inibiram completamente o crescimento de *A. aleyrodinis*. Entre os inseticidas, o dimetoato aumentou significativamente o crescimento máximo (5,2 cm) do fungo em relação ao restante dos inseticidas nas concentrações testadas.

Considerações finais

A mistura em tanque de produtos fitossanitários na citricultura é uma estratégia vantajosa que reduz os custos de produção, pois proporciona um maior espectro para a aplicação dos tratamentos no campo. Com relação ao controle biológico, a mistura em tanque pode proporcionar um efeito sinérgico, com o agente de controle biológico atuando em um segundo momento, enquanto o controle químico proporciona um efeito de choque, com rápida redução da população da praga. Além disso, com uso de diferentes princípios ativos ao mesmo tempo tem papel importante no manejo da evolução da resistência, permitindo uma vida útil mais longa aos produtos fitossanitários.

Entretanto, para que os benefícios acima citados possam ser alcançados estudos básicos e aplicados de compatibilidade entre os componentes da mistura devem ser realizados. Importante ressaltar que, quando consideramos a realização de testes de compatibilidade, devemos estar cientes que o tipo de formulação e os coformulantes devem ser considerados como fatores determinantes da compatibilidade. Outro ponto a considerar é que a metodologia *in vitro* de compatibilidade, onde são avaliados os parâmetros biológicos do agente de controle microbiano em contato com o inseticida, deve ser realizada com ressalvas, pois nem sempre os resultados obtidos predizem a eficácia em campo.

Neste caso, recomenda-se a realização de testes de eficácia para o alvo, a fim de comprovar a correlação entre os parâmetros biológicos do agente de controle microbiano e a eficácia da mistura em campo.

Referências

- AENDA (2025) **Técnica e controle das misturas**. Disponível em: <https://www.aenda.org.br/artigo/tecnica-e-controle-das-misturas/>. Acesso em: 04 maio 2025.
- Alves EB, Omoto C, Franco CR (2000) Mixture of dicofol and fenpyroximate for managing resistance of *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) (Acari: Tenuipalpidae) to dicofol. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil** 29(4):789-797.
- Alves EB, Casarin NFB, Gonçalves-Gervásio RC, Omoto C (2022) Lime sulfur to control citrus flat mite and its interactions with the entomopathogenic fungus *Lecanicillium muscarium*. **Arquivos do Instituto Biológico** 89:e00232021.
- Avery P, Pick D, Aristizábal L, Kerrigan J, Powell C, Rogers M, Arthurs S (2013) Compatibility of *Isaria fumosorosea* (Hypocreales: Cordycipitaceae) blastospores with agricultural chemicals used for management of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). **Insects** 4(4):694-711.
- Batista Filho A, Almeida JEM, Lamas C (2001) Effect of thiamethoxam on entomopathogenic microorganisms. **Neotropical Entomology** 30:437-447.
- Carvalho MEA, Castro PRC (2014) **Extratos de algas e suas aplicações na agricultura**. Piracicaba: ESALQ. 58p.
- Centro de Citricultura (2013) **Adubação foliar na citricultura**. Disponível em: https://ccsm.br/wp-content/uploads/2017/04/INFORMATIVO_CCISM_10_2013.pdf
- Della Vechia JF, Bassanezi RB, Andrade DJ (2019) Physicochemical and biological compatibility of insecticide mixtures with acaricide in the management of *Brevipalpus yothersi*. **Systematic and Applied Acarology** 24(8):1455-1464.
- Fundecitrus (2024a). **Reestimativa da safra de laranja 2024/25 do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste mineiro cenário em dezembro/2024**. Disponível em: https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes_relatorios/1224_Reestimativa_da_Safra_de_Laranja.pdf
- Fundecitrus (2024b). **Reestimativa da safra de laranja 2023/24 do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste mineiro – cenário em abril/2024**. Disponível em: https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes_relatorios/0424_Fechamento_da_Safra_de_Laranja.pdf
- Gallo D, Nakano O, Silveira Neto S, Carvalho RPL, Baptista GC, Berti Filho E, Parra JRP, Zucchi RA, Alves SB, Vendramim JD, Marchini LC, Lopes JRS, Omoto C (2002) **Entomologia Agrícola**. Piracicaba: FEALQ. 920p.
- Gandini EMM, Costa ESP, dos Santos JB, Soares MA, Barroso GM, Corrêa JM, Zanuncio JC (2020) Compatibility of pesticides and/or fertilizers in tank mixtures. **Journal of Cleaner Production** 268:122152.

Gazziero DLP, de Oliveira RB, Ovejero RFL, Barbosa HN, Precipito LMB (2021) **Manual técnico para subsidiar a mistura em tanque de agrotóxicos e afins**. Londrina: Embrapa Soja. 23p. (Documentos / Embrapa Soja, n. 437).

Gravena S (2011) História do controle biológico na citricultura brasileira. **Citrus Research & Technology** 32(2):85-92.

IBGE (2023) Produção agrícola municipal 2023. **Produção Agrícola Municipal** 50:1-11.

Ingle YV, Bhosale DN, Karande VD (2022) Identification, pathogenesis and compatibility of *Aschersonia aleyrodis* (Webber) with selected fungicides and insecticides. **International Journal of Tropical Insect Science** 42:2093-2101.

Kumar V, Avery P, Ahmed J, Cave R, McKenzie C, Osborne L (2017) Compatibility and efficacy of *Isaria fumosorosea* with horticultural oils for mitigation of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). **Insects** 8(4):119.

Li P, He S, Tang T, Qian K, Ni H, Cao Y (2012) Evaluation of the efficacy of glyphosate plus urea phosphate in the greenhouse and the field. **Pest Management Science** 68(2):170-177.

Macedo WR, Castro PRC (2015) Biorreguladores, bioestimulantes e bioativadores na agricultura tropical. In: Visotto LE, Fernandes F, Filho AC, Lopes E, Aquino LA, Fernandes MES, God PIVG, Ruas RAA, Júnior JMS (Orgs.) **Avanços tecnológicos aplicados à pesquisa na produção vegetal**. Universidade Federal de Viçosa.

Miranda MP (2022) **Manual de psílideo *Diaphorina citri*: medidas essenciais de controle**. Araraquara: Fundecitrus. 19p.

Moreira JOT, Nascimento ARP (2002) Avaliação da eficiência de acaricidas isolados e em mistura no controle do ácaro-da-necrose-do-coqueiro *Aceria guerreronis* Keifer, 1965 (Prostigmata: Eriophyidae) no Vale do São Francisco. **Revista Brasileira de Fruticultura** 24(1):72-76.

Parra JRP, Garcia AG, Diniz AJF, Bento JMS (2022) Sustainability in Brazilian citriculture: three decades of successful biological control of insect pests. **Frontiers in Agronomy** 4:874188

Parra JRP, Lopes JRS, Torres MLG, Nava DE, Paiva PEB (2010) Bioecologia do vetor *Diaphorina citri* e transmissão de bactérias associadas ao huanglongbing. **Citrus Research & Technology** 31:27-51.

Ribeiro RP, Blume E, Bogorni PC, Dequech STB, Brand SC, Junges E (2012) Compatibility of *Beauveria bassiana* commercial isolate with botanical insecticides utilized in organic crops in southern Brazil. **Biology Agriculture and Horticulture** 28:223-240.

Rossi-Zalaf LS, Alves SB, Lopes RB, Silveira Neto S, Tanzini MR (2008) Interação de microrganismos com outros agentes de controle de pragas e doenças. In: Alves SB, Lopes RB (Orgs.) **Controle microbiano de pragas na América Latina: avanços e desafios**. Piracicaba: FEALQ. p. 279-302.

10 - COMPATIBILIDADE NA CITRICULTURA: MISTURA EM TANQUE EM TERMOS APLICADOS

Schumacher V, Poehling HM (2012) *In vitro* effect of pesticides on the germination, vegetative growth, and conidial production of two strains of *Metarhizium anisopliae*. **Fungal Biology** 116:121-132.

Sirvi SL, Jat AL, Choudhary HR, Jat N, Tiwari VK, Singh N (2013) Compatibility of bioagents with chemical pesticides: an innovative approach in insect-pest management. **Popular Kheti** 1:62-67.

11

Tecnologia de aplicação de produtos biológicos

Jaqueline Franciosi Della Vechia

- 📍 Engenheira Agrônoma - Fundo de Defesa da Citricultura (Fundecitrus)
- ✉ jaqueline.vechia@fundecitrus.com.br

Contextualização

A citricultura brasileira enfrenta inúmeros desafios fitossanitários, especialmente relacionados à incidência de pragas e doenças que comprometem significativamente a produtividade dos pomares. Segundo levantamento realizado pelo Fundecitrus na safra de 2024/25, estima-se que cerca de 50 milhões de caixas de frutas foram perdidas devido à queda prematura dos frutos (Fundecitrus, 2025).

O *greening* (Huanglongbing - HLB) foi o principal responsável por essas perdas, contribuindo com 9,05% dos 17,8% de queda total registrada, o que representa aproximadamente 25 milhões de caixas. Em seguida, destacam-se o bicho-furão e as moscas-das-frutas, que juntos foram responsáveis por 4,11% das perdas - equivalentes a cerca de 12 milhões de caixas. A queda natural (1,83%) e a mecânica (1,18%) aparecem na sequência, totalizando 3,01%, ou 8 milhões de caixas. A pinta preta também teve papel relevante, com 1,11% de contribuição nas perdas, ou 3 milhões de caixas. Outros fatores como a leprose (0,23%), a rachadura de casca (0,17%) e o cancro cítrico (0,12%) somaram mais 2 milhões de caixas perdidas.

Diante desse cenário, fica evidente a importância de estratégias eficazes para o manejo integrado de pragas e doenças. O manejo integrado de pragas (MIP) baseia-se em pilares fundamentais, como o conhecimento aprofundado das pragas, incluindo aspectos

taxonômicos, fisiológicos e comportamentais, o monitoramento sistemático por meio de amostragem e a consideração de fatores climáticos que afetam a dinâmica populacional desses organismos.

Além disso, o uso do produto correto (químico ou biológico), na dose recomendada e com a devida rotação de ingredientes ativos com modos de ação distintos, é essencial para evitar o desenvolvimento de resistência. Outro fator determinante para o sucesso do controle é o momento ideal de aplicação e, sobretudo, a qualidade da pulverização.

Neste contexto, a tecnologia de aplicação exerce papel crucial. Quando bem planejada e executada, ela minimiza perdas por deriva e escorrimento, otimiza o aproveitamento dos produtos aplicados e reduz os riscos à saúde humana, animal e ao meio ambiente.

A capacitação da mão de obra e o uso correto dos equipamentos são aspectos indispensáveis para garantir a eficácia das pulverizações. Quando aplicada de forma técnica e consciente, a tecnologia de aplicação se torna uma aliada da sustentabilidade e da eficiência no controle de pragas e doenças, especialmente em culturas de alto valor como os citros.

Fatores para o sucesso da aplicação de produtos biológicos

A eficiência da aplicação de produtos biológicos, assim como de qualquer outro insumo, depende de diversos fatores que devem ser considerados de forma integrada. A pulverização deve garantir que o produto atinja o alvo com precisão, sem desperdícios, com economia, segurança ao trabalhador e mínima contamina-

ção ambiental. Para isso, é fundamental levar em conta elementos como o alvo biológico e químico, a escolha da máquina, o momento da aplicação e as condições climáticas. A negligência de qualquer um desses fatores pode comprometer toda a operação, resultando em falhas de controle e perda do investimento.

Alvo biológico e químico

O alvo biológico refere-se ao local da planta onde a praga ou doença está presente. Já o alvo químico é o ponto em que o produto deve ser depositado para, a partir daí, atingir o alvo biológico, seja por contato direto ou por redistribuição.

Conhecer o comportamento da praga, seu ciclo de vida, hábitos alimentares e preferências de abrigo é essencial para definir qual parte da planta deve ser atingida pela pulverização. Na citricultura, a maioria dos inseticidas, acaricidas e fungicidas são de con-

tato, o que exige cobertura uniforme nas superfícies da planta para um bom desempenho.

Para alcançar essa cobertura, recomenda-se o uso de pontas que produzam gotas finas a muito finas (entre 100 e 150 μm). Esse tipo de gota promove maior cobertura da superfície foliar e melhor penetração na copa das plantas, que normalmente apresentam alta densidade foliar, dificultando o alcance de partes internas do dossel.

Momento de aplicação e condições climáticas

O momento mais adequado para a aplicação depende de três pilares: monitoramento (amostragem), nível de infestação e condições ambientais. Mesmo com a escolha do produto e da dose correta, a aplicação em momento inadequado pode comprometer toda a operação.

Durante a pulverização, os seguintes fatores ambientais devem ser monitorados:

- ✓ Umidade relativa do ar: mínima de 55%
- ✓ Temperatura: abaixo de 30°C
- ✓ Velocidade do vento: entre 3 e 10 km/h

Esses limites ajudam a minimizar perdas por evaporação, deriva e inversão térmica. A gota pulverizada é composta majoritariamente por água e, quanto mais quente e seco o ambiente, maior a taxa de evaporação, o que reduz a eficiência do tratamento. Temperaturas elevadas também favorecem a inversão térmica, fenômeno que pode desviar as gotas para fora da área alvo. Já velocidades de vento elevadas aumentam o risco de deriva, levando o produto para áreas vizinhas ou não intencionadas.

Entretanto, nem sempre as condições ambientais estão ideais. Como a proteção fitossanitária é contínua, algumas estratégias podem ser adotadas para minimizar perdas:

- ✓ Realizar a aplicação nos horários mais amenos do dia (início da manhã ou fim da tarde);
- ✓ Regular o equipamento conforme as condições do momento;
- ✓ Utilizar adjuvantes que reduzam a deriva ou acelerem a secagem;
- ✓ Aumentar o número de equipamentos em operação para reduzir o tempo total de pulverização.

Escolha da máquina

A máquina utilizada tem papel central na uniformidade da cobertura. Equipamentos que posicionam o centro da turbina (ventilador) próximo ao centro da planta tendem a promover melhor distribuição do ar, o que favorece a penetração das gotas no interior da copa.

Outro ponto importante é o cruzamento dos cones de pulverização. A distância entre o pulverizador e a planta deve ser tal que os cones formados pelas pontas se cruzem, preferencialmente, na metade dessa

distância, garantindo uma aplicação homogênea em ambos os lados da planta.

Quando a realidade do pomar não permite o uso ideal do equipamento, é possível adequar o pomar ao pulverizador. A poda das plantas, por exemplo, pode ser uma estratégia para facilitar a entrada e distribuição do ar e das gotas na copa, favorecendo a eficácia da aplicação mesmo com equipamentos menos modernos ou menos ajustados à estrutura do pomar.

Limitações no uso de produtos biológicos

A aplicação eficaz de agentes de controle biológico, como fungos entomopatogênicos, depende de diversos fatores, incluindo a formulação da calda de pulverização, o uso de adjuvantes e as condições operacionais durante a aplicação como a pressão e temperatura da calda, o tipo de bico e o volume de pulverização, além

das condições ambientais no momento da aplicação. Estudos recentes têm explorado como esses elementos influenciam a adesão, germinação e viabilidade dos microrganismos utilizados no controle de pragas agrícolas.

Influência dos adjuvantes na eficácia dos fungos

A adição de adjuvantes na calda de aplicação pode melhorar significativamente a adesão, distribuição e germinação dos conídios dos fungos entomopatogênicos sobre a cutícula dos insetos. Estudos com *Cordyceps fumosorosea* (Wize) Kepler, B. Shrestha & Spatafora demonstraram que adjuvantes como Silwet L77 e KBRAAdj proporcionam maior adesão dos conídios nas regiões ventrais e dorsais do tórax de *Diaphorina citri* Kuwayama, 1908 (Hemiptera: Psyllidae), além de promoverem a germinação em menos de 48 horas após a aplicação, enquanto formulações contendo apenas Tween 80 exigiram mais de 72 horas para iniciar a germinação (Arnosti et al., 2019). Esses adjuvantes reduzem a tensão superficial da calda,

favorecendo a cobertura dos insetos, o espalhamento das gotas e a penetração em regiões anatômicas mais suscetíveis à infecção, como intersegmentos e áreas abdominais.

Além disso, o KBRAAdj demonstrou ser compatível com a germinação e infecção do fungo em condições ambientais comuns no campo, o que o torna uma opção estratégica para aplicações em citros (Arnosti et al., 2019). A escolha adequada do adjuvante é, portanto, fundamental para potencializar a ação dos microrganismos e assegurar o sucesso do controle biológico.

Efeitos da pressurização da calda

A pressão de trabalho utilizada na pulverização é outro fator determinante para a viabilidade dos agentes biológicos. Estudos realizados com diferentes grupos de microrganismos, incluindo *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin, *Bacillus thuringiensis* Berliner, 1915 var. *kurstaki*, o nucleopoliedrovírus de *Anticarsia gemmatalis* Hübner, 1818 (Lepidoptera: Noctuidae) (AgMNPV) e o nematoide *Steinernema glaseri* Steiner, 1929 (Nematoda: Steinernematidae), demonstraram que pressões de até 1.379 MPa não comprometem a viabilidade desses organismos (Garcia et al., 2005). Isso indica que equipamentos convencionais de

pulverização, como pulverizadores tratorizados ou costais, podem ser utilizados sem risco de inativação dos agentes, desde que operem dentro desses limites de pressão.

Essa informação é relevante do ponto de vista operacional, pois permite o uso de pressões mais elevadas para obter gotas menores e melhor cobertura, sem comprometer a integridade dos microrganismos. No entanto, é essencial combinar essa prática com outros cuidados, como a escolha correta da ponta de pulverização e o controle da temperatura da calda.

Temperatura da calda de pulverização

A temperatura da calda durante o preparo e a aplicação é um fator frequentemente negligenciado, mas de grande impacto na eficácia dos agentes microbiológicos. Evidências recentes apontam que temperaturas acima de 35°C podem reduzir significativamente a viabilidade de fungos entomopatogênicos e outros microrganismos utilizados em controle biológico (Grella et al., 2023). Isso ocorre porque esses organismos são sensíveis ao calor e a exposição prolongada a temperaturas elevadas pode inativar os conídios ou reduzir sua capacidade germinativa.

Assim, recomenda-se realizar a aplicação nos períodos mais amenos do dia, como nas primeiras horas da manhã ou no final da tarde e, sempre que possível, manter a calda protegida do calor direto e do sol. Tais medidas ajudam a preservar a viabilidade dos microrganismos durante o preparo, transporte e aplicação no campo.

Volume de calda, tipo de bico e cobertura

O volume de calda aplicado influencia diretamente a cobertura foliar e a deposição do produto nas diferentes partes da planta. Em culturas perenes como os citros, onde o dossel é denso e os insetos pragas se concentram no ponteiro e nas regiões internas da copa, volumes maiores de calda têm se mostrado mais eficazes para alcançar essas áreas. Estudos demonstram que a combinação de volume de calda, adjuvantes apropriados e bicos adequados resulta em melhor deposição e cobertura, fatores essenciais para o sucesso do controle biológico (Gan-Mor & Matthews, 2003; Santos et al., 2021).

Bicos de jato cônico vazio, por exemplo, produzem gotas finas que facilitam a penetração da calda no interior da planta, mas exigem atenção especial à possibilidade de deriva. A escolha do bico deve, portanto, equilibrar o objetivo de cobertura com a segurança e eficiência da aplicação. Além disso, a uniformidade da pulverização também depende da calibração correta dos equipamentos e da velocidade de deslocamento do pulverizador.

Considerações finais

A adoção de tecnologias adequadas de aplicação é um dos pilares para o sucesso do controle biológico na citricultura. Diante dos desafios fitossanitários enfrentados pelo setor, especialmente no combate a pragas, garantir que os agentes microbiológicos cheguem de forma eficaz ao alvo é essencial para obter resultados consistentes e sustentáveis.

A tecnologia de aplicação, quando bem ajustada e tecnicamente conduzida, permite maximizar a eficiência dos produtos biológicos, otimizando sua distribuição, adesão e viabilidade, ao mesmo tempo em que minimiza perdas por deriva, evaporação e escorrimento. Fatores como a escolha correta do bico, o volume de calda, o uso de adjuvantes compatíveis, a temperatura da calda e as condições ambientais no momento da pulverização devem ser considerados de forma integrada.

Além disso, a capacitação da equipe operacional e a calibração dos equipamentos são fundamentais para garantir a uniformidade da aplicação. Em suma, a tecnologia de aplicação deixa de ser apenas um detalhe técnico para se tornar um componente estratégico no manejo integrado de pragas e doenças, contribuindo diretamente para a sustentabilidade e a produtividade dos pomares de citros.

Referências

Arnosti A, Delalibera I, Conceschi MR, D'Alessandro CP, Travaglini RV, Camargo-Mathias MI (2019) Interactions of adjuvants on adhesion and germination of *Isaria fumosorosea* on adults of *Diaphorina citri*. **Scientia Agricola**, 76(6), 487-493.

Fundecitrus (2025) **Safra de laranja 2024/25 é encerrada com produção total de 230,87 milhões de caixas**. Disponível em: https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes_relatorios/0425_Fechamento_da_Safra_de_Laranja.pdf

Gan-Mor S, Matthews GA (2003) Recent developments in sprayers for application of biopesticides - An overview. **Biosystems Engineering** 84(2):119-125.

Garcia LC, Raetano CG, Wilcken SR, Ramos HH, Leite LG, B Filho A, Moscardi F (2005) Pressurização da calda de pulverização na viabilidade de microrganismos entomopatogênicos. **Engenharia Agrícola** 25:783-790.

Grella M, Gioelli F, Marucco P, Zwertvaegher I, Mozzanini E, Pittarello M, Pugliese M (2023) Assessment of microbial biocontrol agent (BCA) viability to mechanical and thermal stress by simulating spray application conditions. **Pest Management Science** 79(11):4423-4438.

Santos CAM, Nascimento J, Gonçalves KC, Smaniotta G, Zechin LF, Ferreira MC, Polanczyk RA (2021) Compatibility of Bt biopesticides and adjuvants for *Spodoptera frugiperda* control. **Scientific Reports** 11(1):5271.

12

Contribuições de conceitos em Fisiologia de Insetos para o manejo biológico de pragas

Guilherme Duarte Rossi

📍 Departamento de Fitossanidade,
FCAV-UNESP, Jaboticabal-SP

✉️ gd.rossi@unesp.br

Fisiologia dos Insetos

A Fisiologia dos Insetos é um tema de estudos dedicado ao entendimento do funcionamento das estruturas corporais dos insetos (Klowden, 2013). Para tal compreensão, são empregadas, por exemplo, ferramentas biológicas, bioquímicas, de Biologia Molecular e microscopia (Chapman, 2013).

Nos cursos de Graduação em Engenharia Agrônoma e de Pós-Graduação em Agronomia (Entomologia Agrícola) da FCAV/UNESP/Jaboticabal-SP, parte do conteúdo sobre Fisiologia dos Insetos é ministrada, respectivamente, na disciplina Entomologia Básica da graduação e na disciplina Fisiologia dos Insetos da pós-graduação. Em ambos os cursos, de maneira geral, são apresentados conceitos sobre o ovo, desenvolvimento embrionário, tegumento, sistema endócrino, hormônios, desenvolvimento pós-embrionário, nutrição, sistema digestório, tecido adiposo, metabolismo, sistema excretor, sistema nervoso, sistema respiratório, sistema circulatório, sistema imunológico, sistemas sensoriais, sistema muscular e sistema reprodutor dos insetos.

Espera-se que o conteúdo sobre Fisiologia dos Insetos possa auxiliar os Engenheiros Agrônomos e Mestres e Doutores em Agronomia (Entomologia Agrícola) a compreenderem processos de laboratório e de campo para tomarem as melhores decisões no manejo de pragas. No presente capítulo, apresenta-se brevemente a próxima relação da Fisiologia dos Insetos com o desenvolvimento de moléculas químicas para o controle de insetos pragas e são apresentadas formas em que o controle biológico pode ser desenvolvido utilizando a Fisiologia dos Insetos como referência.

Início: desenvolvimento do controle químico de pragas baseado em conceitos de Fisiologia dos Insetos

Com o entendimento do funcionamento do corpo dos insetos, técnicas para interferir no desenvolvimento dos mesmos têm sido elaboradas. Por exemplo, até a década de 1940, moléculas inorgânicas (não baseadas em carbono), como arsênio, enxofre e cobre que apresentam alta toxicidade para pragas e organismo não alvos eram utilizadas para o controle de insetos pragas da Agricultura e pragas urbanas, incluindo os vetores de doenças ao homem (Abubakar et al., 2020; Araújo et al., 2023).

Os avanços das pesquisas em Química e Fisiologia dos Insetos adquiridos com o tempo têm permitido a identificação e síntese de novas moléculas químicas com propriedades inseticidas. A partir dos anos 1940, início do desenvolvimento do controle químico moderno, as moléculas orgânicas (baseadas em carbono) empregadas para o controle de insetos pragas, apesar de diferente em termos de estrutura das moléculas inorgânicas, ainda apresentavam alta toxicidade ao homem e a organismos não alvos. Como exemplo, são citados os inseticidas organoclorados (entre eles o DDT, banido para uso na Agricultura), e o princípio ativo terbufos (organofosforado) que apresenta classificação toxicológica 2 (Produto Altamente Tóxico) e classificação ambiental II (Produto Muito Perigoso ao Meio Ambiente) (AgroFit, 2025) e que requer uso racional para evitar contaminações aos seres humanos, organismos não alvo e ao ambiente.

Com o passar dos anos e o aumento do conhecimento sobre a Fisiologia dos Insetos, moléculas orgânicas baseadas em produtos naturais, eficientes para o controle de insetos pragas e menos tóxicas ao homem e demais organismos não alvos têm sido desenvolvidas (Sparks et al., 2023). Por exemplo, avanços no conhecimento do sistema nervoso dos insetos resultaram no desenvolvimento do princípio ativo flubendiamida (diamida), molécula ativa no sistema nervoso dos insetos (modulador de receptores

de rianodina) com reduzidos efeitos maléficos sobre mamíferos (Du e Fu, 2023) (classificação toxicológica 5 - Produto Improvável de Causar Dano Agudo e classificação ambiental III - Produto Perigoso ao Meio Ambiente) (Agrofit, 2025).

Complementarmente, avanços nos estudos sobre a Fisiologia dos Insetos em sistemas distintos do sistema nervoso e da respiração celular, como o sistema hormonal e características do crescimento dos insetos, têm contribuído para o desenvolvimento de táticas de controle. Como consequência, os inseticidas químicos conhecidos como inseticidas fisiológicos ou reguladores de crescimento têm sido desenvolvidos (Munjal et al., 2023), como o princípio metoxifenosida (agonista de receptores de ecdisteroides; classificação toxicológica 5 e classificação ambiental III) e o ingrediente ativo Bistriflurom (inibidor de síntese de quitina; classificação toxicológica 5 e classificação ambiental IV - Produto Pouco Perigoso ao Meio Ambiente) (AgroFit, 2025).

Mesmo em meio aos avanços dos estudos da Fisiologia dos Insetos com consequente desenvolvimento de moléculas químicas eficientes para o controle de insetos pragas e menos tóxicas aos organismos não alvos e ao ambiente e com seletividade para atingir os insetos pragas, o controle biológico tem ganhado muito espaço no manejo de pragas. Muito desse ganho deve-se à pressão da sociedade e dos órgãos de regulação por táticas menos nocivas ao homem e ao meio ambiente bem como menor observação de seleção de pragas resistentes aos agentes de controle biológico.

Complementarmente, os avanços dos estudos para produção e liberação de agentes têm viabilizado o controle biológico em termos de eficiência e com valor competitivo (Parra, 2023). Além disso, agentes de

12 - CONTRIBUIÇÕES DE CONCEITOS EM FISIOLOGIA DE INSETOS PARA O MANEJO BIOLÓGICO DE PRAGAS

controle biológico de insetos e ácaros pragas como insetos e ácaros predadores, produtos derivados de cepas de *Bacillus thuringiensis* Berliner, 1905, vírus entomopatogênicos e parasitoides apresentam classificação toxicológica 5 (ou não classificados

em função da natureza do produto) e classificação ambiental IV, mostrando as vantagens em termos de segurança humana e ambiental dos agentes de controle biológico em geral (AgroFit, 2025).

Desenvolvimento do controle biológico utilizando conceitos de Fisiologia dos Insetos

O controle biológico de pragas emprega inimigos naturais, microrganismos entomopatogênicos e seus derivados para redução da população de insetos pragas. A utilização do controle biológico para o manejo de insetos pragas apresenta vantagens como redução do desenvolvimento de populações resistentes aos agentes de controle e efeitos maléficos reduzidos ao ambiente e organismos não alvos em relação ao controle químico (Parra et al., 2021).

O controle biológico envolve complexas relações fisiológicas entre os insetos pragas e seus respectivos agentes de controle (predadores e parasitoides

entre os macrobiológicos e fungos, bactérias e vírus entomopatogênicos entre os microbiológicos) - consultar Pennacchio et al. (2014) para interações com predadores e parasitoides, Khalid et al. (2024) para interações com fungos entomopatogênicos, Jurat-Fuentes et al. (2021) para interações com bactérias entomopatogênicas e Irsad et al. (2023) para interações com vírus entomopatogênicos.

Dessa forma, uma questão é levantada: “O desenvolvimento do controle biológico pode ser beneficiado utilizando conceitos de Fisiologia dos Insetos assim como o controle químico tem sido beneficiado?”

Macrobiológicos

Predadores

Em termos fisiológicos, os predadores são os agentes biológicos que apresentam relações menos complexas com suas presas. Após localização das presas por meio do sistema sensorial, os predadores capturam e consomem os tecidos das presas necessários para sua nutrição. Devido a necessidade de um predador utilizar mais de uma presa durante seu desenvolvimento, caso a presa seja inadequada para o desenvolvimento do predador, o mesmo tem a possibilidade de encontrar outras presas adequadas para o seu desenvolvimento.

Uma possibilidade da utilização de conhecimentos sobre a Fisiologia e, mais especificamente, sobre a nutrição dos predadores é o desenvolvimento de técnicas de criação de predadores em larga escala utilizando dietas artificiais sem a necessidade ou re-

dução da criação das presas. Por exemplo, a utilização de dietas artificiais para suplementação da dieta natural de crisopídeos baseada em pulgões resultou no aumento do rendimento do desenvolvimento dos crisopídeos (redução do tempo de desenvolvimento e aumento da taxa de reprodução) e consequente redução da quantidade de pulgões necessários para a criação (Haramboure et al., 2016).

Outra possibilidade para explorar conceitos de Fisiologia para o uso de predadores é a seleção de predadores resistentes a inseticidas para serem liberados em campos em que ocorrem aplicações de inseticidas. Como exemplo, citam-se os estudos de ácaros predadores e joaninhas predadoras resistentes a inseticidas/acaricidas nos quais o mecanismo fisiológico da resistência dos predadores aos agen-

tes de controle químico é comumente baseado nas enzimas detoxificadoras presentes nas populações de predadores resistentes (Rodrigues et al., 2014; Hesketh e Sato, 2023).

Esses estudos indicam mecanismos fisiológicos relacionados à detoxificação de pesticidas nos predadores resistentes e ressaltam a complementariedade do controle biológico clássico (introdução de populações de predadores resistentes) ou conservativo (manutenção das populações de predadores resistentes em um ambiente) com aplicações de inseticidas em um agroecossistema.

Complementarmente, cita-se o uso de inseticidas seletivos associados à liberação ou preservação de predadores em campos em que ocorrem a aplicação de inseticidas. Por exemplo, uso de inseticidas baseados nos ingredientes ativos tebufenozide e pyriproxyfen, ambos reguladores de crescimento de insetos, sem toxicidade aguda a crisopídeos predadores (Zotti et al., 2012). Porém, foi avaliado e ressaltado por Zotti et al. (2013) que atenção deve ser dada a possíveis efeitos subletais de pesticidas considerados seletivos sobre insetos não alvos (polinizadores, decompositores e inimigos naturais) sobreviventes a ensaios de observação de toxicidade aguda. Tais efeitos subletais observados a longo prazo podem resultar na redução populacional dos insetos benéficos como os predadores nos agroecossistemas.

Parasitoides

Os insetos parasitoides passam todo desenvolvimento larval utilizando outros insetos como hospedeiros e matam ou inviabilizam a reprodução do hospedeiro após a fase parasítica e se tornam adultos de vida livre. Os parasitoides podem utilizar diferentes fases de desenvolvimento do hospedeiro durante sua fase parasítica. Dessa forma, observam-se espécies de parasitoides de ovos, imaturos (ninfas, larvas e lagartas), pupas e adultos (Pennacchio et al., 2014).

Os parasitoides de ovos requerem ovos como hospedeiros. Visto que o custo da produção de ovos de hospedeiros é elevado, o conhecimento das exigências nutricionais requeridas pelos imaturos de parasitoides de ovos, bem como a respeito das propriedades do córion (“casca”) dos ovos dos hospedeiros pode resultar no desenvolvimento de ovos artificiais de baixo custo para a produção de parasitoides de ovos em condições controladas (biofábricas).

Estudos utilizando membranas plásticas para substituírem o córion do ovo foram conduzidos e demonstraram que, mesmo sem o estímulo químico do ovo, as vespas parasitoides realizam a oviposição em ovos artificiais (Cônsoi e Parra, 1999). Após vencida a bar-

reira do córion, o desafio é o desenvolvimento de um conteúdo para o ovo artificial que seja adequado para o desenvolvimento embrionário e imaturo do parasitoide e que resulte na emergência de um parasitoide adulto de alta qualidade para ser utilizado como agente de controle biológico. O desenvolvimento completo de parasitoides de ovos em ovos artificiais foi observado utilizando tecidos de pupas e hemolinfa de insetos como conteúdo dos ovos, mas o custo dos ovos artificiais ainda é muito alto em relação ao custo de produção de ovos naturais de hospedeiros alternativos (Dias et al., 2010; Wang et al., 2014).

O conhecimento sobre a Fisiologia do ovo e desenvolvimento embrionário do hospedeiro, além de auxiliar o desenvolvimento de ovos artificiais, pode melhorar a eficiência de produção de parasitoides em condições controladas. Por exemplo, estudos sobre o tempo ideal após oviposição do ovo pelo hospedeiro para realização do parasitismo (Chen et al., 2023) e métodos de criação do hospedeiro para produção de ovos e congelamento dos mesmos para otimizar a logística de produção (Parra et al., 2023) podem potencializar a produção dos parasitoides de ovos com alta qualidade em condições controladas para serem utilizados no controle biológico aplicado.

12 - CONTRIBUIÇÕES DE CONCEITOS EM FISIOLOGIA DE INSETOS PARA O MANEJO BIOLÓGICO DE PRAGAS

Parasitoides de larvas/lagartas, pupas e adultos não apresentam técnicas de criação em hospedeiros artificiais tão promissoras quanto às observadas para parasitoides de ovos. Os melhores resultados são observados para criação *in vitro* de ectoparasitoides, parasitoides cuja fase imatura desenvolve-se do lado de fora seu hospedeiro, diferentemente dos endoparasitoides que se desenvolvem dentro de seus hospedeiros. Por exemplo, ectoparasitoides foram criados *in vitro* até a fase adulta (Magro, 2000; Carpenter et al., 2001). Em função dos endoparasitoides entrarem em contato mais íntimo com o sistema imunológico do seu hospedeiro e requererem estratégias especializadas para obtenção de oxigênio no interior do seu hospedeiro, os estilos de desenvolvimento

embrionário e larval dos endoparasitoides dificultam sua criação em hospedeiros artificiais (Kuriachan et al., 2006).

Em condições controladas de produção, a nutrição das vespas parasitoides pode potencializar a produção de descendentes. Por exemplo, a adição de diferentes óleos na nutrição de vespas parasitoides pode resultar no aumento do número de ovos parasitados (Raynard et al., 2023). Em condições de produção de parasitoides em biofábricas, esse aumento pode resultar em melhoria no processo de produção e, em condições de campo, em melhor eficiência do agente de controle.

Microbiológicos

Fungos

Os fungos entomopatogênicos são aqueles capazes de infectarem insetos como hospedeiros e, conseqüentemente, o hospedeiro do fungo entomopatogênico morre após infecção bem-sucedida (Karthi et al., 2024). Para que a infecção seja bem-sucedida, o fungo entomopatogênico requer adesão à cutícula ou sobrevivência ao sistema digestório do inseto hospedeiro, germinação e penetração para ter acesso ao conteúdo da hemocele do hospedeiro e, em seguida, superar o sistema imunológico e multiplicar-se utilizando os recursos energéticos do hospedeiro (Mora et al., 2017).

Dessa maneira, o controle microbiano baseado em fungos entomopatogênicos tem sido desenvolvido por meio do isolamento de fungos entomopatogênicos com a capacidade de aderir/resistir, germinar, penetrar, infectar e se multiplicarem em hospedeiros que sejam insetos pragas relevantes das culturas agrícolas.

Após aplicação de grandes quantidades de inóculo dos entomopatógenos em campo, era de se esperar que a manutenção das populações desses micror-

ganismos ocorresse e que o controle dos insetos pragas fosse constante. Porém, a mortalidade constante em campos agrícolas com impacto significativo pelos entomopatógenos remanescentes após a aplicação é difícil de ser observada pois requer alta concentração de inóculo, condições ambientais e quantidades de hospedeiros adequadas (Qayyum et al., 2021). Dessa maneira, tornam-se necessárias novas aplicações dos entomopatógenos para o manejo de pragas.

Do ponto de vista de contribuições da Fisiologia dos Insetos para o manejo utilizando fungos entomopatogênicos, destacam-se as relações dos entomopatógenos com a cutícula e o sistema imunológico do hospedeiro. Tanto na cutícula como no sistema imunológico, percebe-se que a Fisiologia dos Insetos associada à Ecologia Microbiana e às tecnologias de cultivo pode contribuir principalmente em etapas de desenvolvimento dos entomopatógenos, como seleção e cultivo. Por exemplo, alterações nutricionais e abióticas do cultivo de entomopatógenos em larga escala podem contribuir com o aumento da qualidade dos propágulos a serem aplicados em campo (Jackson et al., 2010).

Outra possibilidade para utilização dos conceitos de Fisiologia dos Insetos para melhorias no controle microbiano utilizando fungos entomopatogênicos é a seleção de entomopatógenos com poder de infecção aumentado, seja por seleção tradicional ou por transgenia dos fungos entomopatogênicos. Por

exemplo, fungos entomopatogênicos podem ter sua virulência aumentada utilizando-se genes dos próprios fungos ou de outros organismos que codifiquem quitinases, proteases, bloqueadores de canais iônicos, entre outros (Zhao et al., 2016).

Bactérias

As bactérias entomopatogênicas são exemplificadas pelo sucesso da bactéria *Bacillus thuringiensis* Berliner, 1915. Diferente dos fungos entomopatogênicos, *B. thuringiensis* apresenta modo de infecção exclusivo após ingestão. De maneira sucinta, os cristais proteicos que contém proteínas Cry precisam ser ingeridos pelos insetos alvos para que ocorra a solubilização e ativação das proteínas que encontrarão proteínas receptoras no epitélio do intestino dos insetos alvos. Após uma sequência de reações bioquímicas, poros serão abertos no epitélio do intestino e os esporos ingeridos junto com os cristais encontrarão nutrientes e condições adequadas para multiplicação na hemocele do inseto alvo suscetível que morrerá (Bravo et al., 2023).

Na Agricultura, a maior parte dos produtos baseados em *B. thuringiensis* são ativos sobre lepidópteros pragas. Esforços têm sido feitos para o desenvolvimento de táticas de controle utilizando *B. thuringiensis* para o controle do psilídeo-dos-citros (Hemiptera), vetor do HLB. Estratégias para aplicação de *B. thuringiensis* como um agente de controle biológico (Dorta et al., 2020) ou para transgenia de plantas que expressem proteínas de *B. thuringiensis* (Dorta et al., 2023; Mishra et al., 2023) têm sido estudadas. A compreensão do sistema digestório do psilídeo-dos-citros para entender como e quais proteínas de *B. thuringiensis* podem causar prejuízos ao desenvolvimento do psilídeo auxiliará o desenvolvimento de táticas de controle baseadas em *B. thuringiensis* para o psilídeo-dos-citros.

Vírus

Assim como as bactérias entomopatogênicas, os vírus entomopatogênicos requerem ingestão para que a infecção ocorra (Mannino et al., 2019). Os vírus entomopatogênicos exemplificados por representantes da família Baculoviridae apresentam alta especificidade por hospedeiros e a produção dos vírus entomopatogênicos em grandes quantidades para aplicação em campos de produção agrícola requer a criação do inseto hospedeiro para replicação dos vírus (Belevitch et al., 2024).

De maneira similar ao observado para bactérias entomopatogênicas, estudos sobre a Fisiologia dos Insetos podem contribuir para o desenvolvimento do controle biológico por meio da seleção dos melhores vírus entomopatogênicos capazes de resistirem ao sistema digestório do inseto alvo e, em seguida, modular adequadamente o sistema imunológico do hospedeiro para que a replicação viral ocorra e resulte na morte do inseto alvo. Assim como os fungos entomopatogênicos, vírus entomopatogênicos podem ser melhorados para expressão de genes que aumentem sua virulência e, conseqüentemente, sua eficácia para o controle de pragas (Harrison e Bonning, 2001).

Considerações finais

As interações entre agentes de controle biológico e insetos pragas comumente são complexas e envolvem interações entre a Fisiologia dos insetos pragas e dos agentes de controle (propriedades da cutícula, nutrição, sistema digestório, sistema de detoxificação, sistema imunológico, etc.).

Em termo de aplicação do agente de controle biológico, algumas questões devem ser consideradas, tais como (i) “O que esperar do agente de controle biológico?”, (ii) “Como o agente de controle biológico interage com o inseto praga?” e (iii) “Como o agente de controle biológico interage com o ambiente?”. A compreensão dessas questões pode auxiliar a correta aplicação bem como a adequada observação dos efeitos de controle esperados.

Diferente dos agentes de controle químico baseados em um único ou poucos princípios ativos, os agentes de controle biológico apresentam diversos mecanismos durante sua ação. Por esse motivo, a utilização de agentes de controle biológico desfavorece o desenvolvimento de populações de insetos pragas resistentes.

Além das questões destacadas para cada tipo de agente de controle biológico nas seções do presente capítulo, atenção deve ser dada para a variação das respostas dos hospedeiros aos agentes de controle biológico em função do alimento consumido pelo inseto praga.

A nutrição dos insetos pragas com diferentes tipos de plantas (híbridos, linhagens, variedades) bem como plantas que contenham concentrações subletais de agentes de controle pode interferir na qualidade do sistema imunológico do inseto praga e, conseqüentemente, interagir de maneira diferente (melhorando ou piorando) a eficiência do agente de controle biológico (Raymond et al., 2005; Pinto et al., 2019; Santos, 2024).

Referências

- Abubakar Y, Tijjani H, Egbuna C, Adetunji CO, Kala S, Kryeziu TL, Ifemeje JC, Patrick-Iwuanyanwu KC (2020) Pesticides, History, and Classification. In: Egbuna C, Sawicka B (Eds.) **Natural remedies for pest, disease and weed control**. Academic Press. pp. 29–42.
- AgroFit - **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons> Acesso em: 12/03/2025.
- Araújo MF, Castanheira EM, Sousa SF (2023) The buzz on insecticides: a review of uses, molecular structures, targets, adverse effects, and alternatives. **Molecules** 28(8):3641.
- Belevitch O, Yurchenko Y, Kharlamova D, Shatalova E, Agrikolyanskaya N, Subbotina A, Ignatieva A, Tokarev Y, Martemyanov V (2024) Ecological safety of insecticide based on entomopathogenic virus DsCPV-1 for nontarget invertebrates. **Scientific Reports** 14(1):29093.
- Bravo A, Pacheco S, Gómez I, Soberón M (2023) Mode of action of *Bacillus thuringiensis* Cry pesticidal proteins. **Advances in Insect Physiology** 65:55–92.
- Carpenter JE, Ferkovich SM, Greany PD (2001) Fecundity and longevity of *Diapetimorpha introita* (Cresson) (Hymenoptera: Ichneumonidae) reared on artificial diets: effects of a lipid extract from host pupae and culture media conditioned with an insect cell line. **Florida Entomologist** 84(1):43–49.
- Chapman RF (author), Simpson SJ (editor), Douglas AE (editor) (2013) **The Insects: Structure and Function**. 5th edition. University Press, Cambridge. 959p.
- Chen W, Wang M, Li Y, Mao J, Zhang L (2023) Providing aged parasitoids can enhance the mass-rearing efficiency of *Telenomus remus*, a dominant egg parasitoid of *Spodoptera frugiperda*, on *Spodoptera litura* eggs. **Journal of Pest Science** 96(4):1379–1392.
- Cônsoli FL, Parra JRP (1999) Development of an artificial host egg for in vitro egg laying of *Trichogramma galloi* and *T. pretiosum* using plastic membranes. **Entomologia Experimentalis et Applicata** 91(2):327–336.
- Dias NDS, Parra JRP, Cônsoli FL (2010) Egg laying and development of Neotropical trichogrammatid species in artificial eggs. **Entomologia Experimentalis et Applicata** 137(2):126–131.
- Dorta SO, Attílio LB, Zanardi OZ, Lopes JRS, Machado MA, Freitas-Astúa J (2023) Genetic transformation of ‘Hamlin’ and ‘Valencia’ sweet orange plants expressing the cry11A gene of *Bacillus thuringiensis* as an additional tool for the management of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). **Journal of Biotechnology** 368:60–70.
- Dorta SO, Balbinotte J, Monnerat R, Lopes JRS, Cunha T, Zanardi OZ, Miranda MP, Machado MA, Freitas-Astúa J (2020) Selection of *Bacillus thuringiensis* strains in citrus and their pathogenicity to *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) nymphs. **Insect Science** 27(3):519–530.

12 - CONTRIBUIÇÕES DE CONCEITOS EM FISIOLOGIA DE INSETOS PARA O MANEJO BIOLÓGICO DE PRAGAS

Du J, Fu Y (2023) Diamide insecticides targeting insect ryanodine receptors: Mechanism and application prospect. **Biochemical and Biophysical Research Communications** 670:19–26.

Haramboure M, Mirande L, Schneider MI (2016) Improvement of the mass rearing of larvae of the neotropical lacewing *Chrysoperla externa* through the incorporation of a new semiliquid artificial diet. **BioControl** 61(1):69–78.

Harrison RL, Bonning BC (2001) Use of proteases to improve the insecticidal activity of baculoviruses. **Biological Control** 20(3):199–209.

Hesketh PM, Sato ME (2023) Acaricide resistance in predatory mites of the genus *Euseius* (Acari: Phytoseiidae) and predation capacity on *Brevipalpus yothersi* (Acari: Tenuipalpidae). **Crop Protection** 172:106322.

Irsad, Shahid M, Haq E, Mohamed A, Rizvi PQ, Kolanthasamy E (2023) Entomopathogen-based biopesticides: insights into unraveling their potential in insect pest management. **Frontiers in Microbiology** 14:1208237.

Jackson MA, Dunlap CA, Jaronski ST (2010) Ecological considerations in producing and formulating fungal entomopathogens for use in insect biocontrol. **BioControl** 55:129–145.

Jurat-Fuentes JL, Heckel DG, Ferré J (2021) Mechanisms of resistance to insecticidal proteins from *Bacillus thuringiensis*. **Annual Review of Entomology** 66(1):121–140.

Karthi S, Vasantha-Srinivasan P, Senthil-Nathan S, Han YS, Shivakumar MS, Murali-Baskaran RK, Kalaivani K, Radhakrishnan N, Park KB, Malafaia G (2024) Entomopathogenic fungi promising biocontrol agents for managing lepidopteran pests: Review of current knowledge. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology** 58:103146.

Khalid MZ, Khalid MA, Han R, Cao L (2024) The intricate dance: Exploring the interactions between entomopathogenic fungi and insects with special focus on the formation/production of Chinese cordyceps. **Fungal Biology Reviews** 50:100397.

Klowden MJ (2013) **Physiological Systems in Insects**. 3rd edition. Academic Press, Elsevier, San Diego. 696p.

Kuriachan I, Consoli FL, Vinson SB (2006) *In vitro* rearing of *Toxoneuron nigriceps* (Hymenoptera: Braconidae), a larval endoparasitoid of *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) from early second instar to third instar larvae. **Journal of Insect Physiology** 52(8):881–887.

Magro SR (2000) **Criação “in vitro” do ectoparasitóide larval *Bracon herbetor* Say, 1857 (Hymenoptera: Braconidae)**. Tese (Doutorado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Mannino MC, Huarte-Bonnet C, Davyt-Colo B, Pedrini N (2019) Is the insect cuticle the only entry gate for fungal infection? Insights into alternative modes of action of entomopathogenic fungi. **Journal of Fungi**

5(2):33.

Mishra R, Narayana R, Ibanez F, Achor D, Shilts T, El-Mohtar C, Orbović V, Stelinski LL, Bonning BC (2023) Bacterial pesticidal protein Mpp51Aa1 delivered via transgenic citrus severely impacts the fecundity of Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*. **Applied and Environmental Microbiology** 89(8):e00723-23.

Mora MAE, Castilho AMC, Fraga ME (2017) Classification and infection mechanism of entomopathogenic fungi. **Arquivos do Instituto Biológico** 84:e0552015.

Munjal K, Gauttam VK, Mir SR, Nain N, Gupta S. Insect Growth Regulators. In: Nollet LML, Mir S (Eds.) **Biopesticides Handbook**. 2nd ed. CRC Press, Boca Raton. 2023. pp. 223-242.

Parra JRP (2023) Biological Control in Brazil: state of art and perspectives. **Scientia Agricola** 80:e20230080.

Parra JRP, Pinto AS, Nava DE, Oliveira RC, Diniz AJF (2021) Conceitos e evolução do controle biológico. In: Parra JRP, Pinto AS, Nava DE, Oliveira RC, Diniz AJF (Orgs.) **Controle Biológico com Parasitoides e Predadores na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: FEALQ. p. 17-38.

Parra LM, Carvalho JRD, Hoback WW, Oliveira RCD (2023) Optimizing mass rearing of the egg parasitoid, *Telenomus podisi*, for control of the brown stink bug, *Euschistus heros*. **Insects** 14(5):435.

Pennacchio F, Caccia S, Digilio MC (2014) Host regulation and nutritional exploitation by parasitic wasps. **Current Opinion in Insect Science** 6:74-79.

Pinto CPG, Azevedo EB, Santos ALZ, Cardoso CP, Fernandes FO, Rossi GD, Polanczyk RA (2019) Immune response and susceptibility to *Cotesia flavipes* parasitizing *Diatraea saccharalis* larvae exposed to and surviving an LC₂₅ dosage of *Bacillus thuringiensis*. **Journal of Invertebrate Pathology** 166:107209.

Qayyum MA, Bilal H, Ullah UN, Ali H, Raza H, Wajid M (2021) Factors affecting the epizootics of entomopathogenic fungi: a review. **Journal of Bioresource Management** 8(4):5.

Raymond B, Hartley SE, Cory JS, Hails RS (2005) The role of food plant and pathogen-induced behaviour in the persistence of a nucleopolyhedrovirus. **Journal of Invertebrate Pathology** 88(1):49-57.

Raynard Y, Coelho Jr A, Deschamps FC, Parra JRP (2023) Lipid-rich diets increase parasitism by the parasitoid *Trichogramma pretiosum*. **Entomologia Experimentalis et Applicata** 171(9):649-657.

Rodrigues AR, Siqueira HA, Torres JB (2014) Enzymes mediating resistance to lambda-cyhalothrin in *Eriopsis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae). **Pesticide Biochemistry and Physiology** 110:36-43.

Santos ALZ (2024) **Diferentes plantas hospedeiras alteram a suscetibilidade de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) ao SfMNPV e modulam os seus parâmetros de desenvolvimento e fisiológicos**. Tese (Doutorado em Agronomia-Entomologia Agrícola) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal.

12 - CONTRIBUIÇÕES DE CONCEITOS EM FISIOLOGIA DE INSETOS PARA O MANEJO BIOLÓGICO DE PRAGAS

Sparks TC, Sparks JM, Duke SO (2023) Natural product-based crop protection compounds - origins and future prospects. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 71(5):2259-2269.

Wang ZY, He KL, Zhang F, Lu X, Babendreier D (2014) Mass rearing and release of *Trichogramma* for biological control of insect pests of corn in China. **Biological Control** 68:136-144.

Zhao H, Lovett B, Fang W (2016) Genetically engineering entomopathogenic fungi. **Advances in Genetics** 94:137-163.

Zotti MJ, Christiaens O, Rougé P, Grutzmacher AD, Zimmer PD, Smagghe G (2012) Sequencing and structural homology modeling of the ecdysone receptor in two chrysopids used in biological control of pest insects. **Ecotoxicology** 21:906-918.

Zotti MJ, Grutzmacher AD, Lopes IH, Smagghe G (2013) Comparative effects of insecticides with different mechanisms of action on *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae): Lethal, sublethal and dose-response effects. **Insect Science** 20(6):743-752.

