

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 01/04/2026.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE INSETICIDA DE
COMPOSTOS ATIVOS DE ORIGEM VEGETAL NA
BROCA-DA-CANA, *Diatraea saccharalis* (Fabricius)
(LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE), E NO PREDADOR DE
OVOS *Xylocoris sordidus* (Reuter) (HEMIPTERA:
ANTHOCORIDAE)**

Vinícius Ferraz Nascimento

Mestre em Biodiversidade e Conservação da Natureza

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE INSETICIDA DE
COMPOSTOS ATIVOS DE ORIGEM VEGETAL NA
BROCA-DA-CANA, *Diatraea saccharalis* (Fabricius)
(LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE), E NO PREDADOR DE
OVOS *Xylocoris sordidus* (Reuter) (HEMIPTERA:
ANTHOCORIDAE)**

Vinícius Ferraz Nascimento

Orientador: Prof. Dr. Sergio Antonio De Bortoli

Coorientador: Dr. Walter Maccheroni Júnior

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Entomologia Agrícola).

2025

N244a

Nascimento, Vinicius Ferraz

Avaliação da atividade inseticida de compostos ativos de origem vegetal na broca-da-cana, *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae), e no predador de ovos *Xylocoris sordidus* (Reuter) (Hemiptera: Anthocoridae) / Vinicius Ferraz Nascimento. -- Jaboticabal, 2025
102 p.

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

Orientador: Sergio Antonio de Bortoli

1. Entomologia. 2. Agroecologia. 3. Inseticidas Botânicos. 4. Cana-de-açúcar. 5. Controle Biológico. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE INSETICIDA DE COMPOSTOS ATIVOS DE ORIGEM VEGETAL NA BROCA-DA-CANA, *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE), E NO PREDADOR DE OVOS *Xylocoris sordidus* (Reuter) (HEMIPTERA: ANTHOCORIDAE)

AUTOR: VINÍCIUS FERRAZ NASCIMENTO

ORIENTADOR: SERGIO ANTONIO DE BORTOLI

COORIENTADOR: WALTER MACCHERONI JUNIOR

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia (Entomologia Agrícola), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. SERGIO ANTONIO DE BORTOLI (Participação Presencial)
Departamento de Fitossanidade / FCAV UNESP Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
 SERGIO ANTONIO DE BORTOLI
Data: 02/10/2025 10:10:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. LEDA GONÇALVES FERNANDES (Participação Virtual)
Departamento de Agronomia / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINA) - Machado/MG

Documento assinado digitalmente
 LEDA GONÇALVES
Data: 05/10/2025 18:52:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. RICARDO ANTONIO POLANCZYK (Participação Virtual)
Departamento de Fitossanidade / FCAV UNESP Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
 RICARDO ANTONIO POLANCZYK
Data: 02/10/2025 14:04:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente
 FLAVIA FAGUNDES DE PAULA
Data: 03/10/2025 11:07:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Pesquisadora Dra. FLÁVIA FAGUNDES DE PAULA (Participação Virtual)
Cargill Agrícola S/A / Rio Verde/GO



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



Documento assinado digitalmente
NILZA MARIA MARTINELLI
Data: 02/10/2025 15:00:11-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. NILZA MARIA MARTINELLI (Participação Presencial)
Departamento de Fitossanidade / FCAV UNESP Jaboticabal

Jaboticabal, 01 de outubro de 2025

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

VINÍCIUS FERRAZ NASCIMENTO – nasceu em Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil, em 27 de março de 1997. Filho de Welinton Moreira Nascimento e Eliana Ferraz Nascimento. Em fevereiro de 2014, iniciou seus estudos de graduação em Agronomia na Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Machado (IFSULDEMINAS), Machado, Minas Gerais, onde obteve seu diploma de Bacharel em Agronomia em março de 2019. Durante a graduação, desenvolveu atividades de pesquisa na área de Agroecologia, Extensão, Cafeicultura e Entomologia. Foi bolsista FAPEMIG de Iniciação Científica, durante 1 ano, no projeto “Levantamento da Entomofauna Associada ao Cultivo de Marolo (*Annona crassiflora* Mart.) no Sul de Minas Gerais”, sob orientação da Profa. Dra. Leda Gonçalves. O trabalho de conclusão de curso da graduação teve como título “A Extensão Universitária no Contexto do Programa Expedição IFSULDEMINAS: Um Relato de Experiência.”, com orientação da mesma professora. Iniciou, em março de 2019, o Mestrado em Biodiversidade e Conservação da Natureza, na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora, Minas Gerais, sendo bolsista Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Durante o mestrado desenvolveu o projeto “Avaliação da atividade repelente e inseticida de extratos aquosos vegetais para o controle de cigarrinhas-das-pastagens (Hemiptera: Cercopidae)”, sob orientação da Dr. Alexander Machado Auad, na Embrapa Gado de Leite. Em abril de 2021, recebeu seu título de Mestre em Biodiversidade e Conservação da Natureza. Em agosto de 2021, ingressou no Doutorado em Agronomia (Entomologia Agrícola) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), São Paulo, Brasil, sob a orientação do Prof. Dr. Sergio Antonio De Bortoli e coorientação do Dr. Walter Maccheroni Júnior. Desde 2023 faz parte da Sociedade Entomológica do Brasil – Jovem (SEB Jovem), como representante da região Sudeste.

“Soy,
Soy lo que dejaron,
soy toda la sobra de lo que se robaron.

Un pueblo escondido en la cima,
mi piel es de cuero por eso aguanta cualquier clima.

Soy una fábrica de humo,
mano de obra campesina para tu consumo
Frente de frio en el medio del verano,
el amor en los tiempos del cólera, mi hermano.

El sol que nace y el día que muere,
con los mejores atardeceres.
Soy el desarrollo en carne viva,
un discurso político sin saliva.
Las caras más bonitas que he conocido,
soy la fotografía de un desaparecido.

Soy la sangre dentro de tus venas,
soy un pedazo de tierra que vale la pena.
soy una canasta con frijoles ,
soy Maradona contra Inglaterra anotándote dos goles.

Soy lo que sostiene mi bandera,
la espina dorsal del planeta es mi cordillera.

Soy lo que me enseñó mi padre,
el que no quiere a su patria no quiere a su madre.

Soy América latina,
un pueblo sin piernas pero que camina. ¡oye!”

Latinoamerica - Calle 13

Ofereço

Aos meus pais, Eliana e Welinton, ao meu irmão, Levy, e aos meus tios, tias, avós e avôs, e primos, pelo amor, apoio, palavras de incentivo e compreensão durante toda a minha caminhada.

Dedico

Ao meus pais, que me permitiram chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, que iluminou meu caminho e fortaleceu minha fé ao longo desta jornada.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, ao Departamento de Ciências da Produção Agrícola (Fitossanidade) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Entomologia Agrícola), pela oportunidade da realização do curso de doutorado.

Ao meu orientador, Dr. Sergio Antonio de Bortoli, pela paciência na orientação, pelos ensinamentos, pela confiança no meu potencial e pelo constante incentivo, fundamentais para a conclusão deste trabalho de doutorado.

Ao meu coorientador, Dr. Walter Macheroni Junior, pelo apoio, disponibilidade e contribuições durante o desenvolvimento deste trabalho, bem como à Usina São Martinho, pela parceria, fornecimento de recursos e suporte indispensável à execução das pesquisas.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Entomologia Agrícola), pelas aulas, ensinamentos, conselhos e suporte durante minha trajetória acadêmica.

Aos meus pais, Eliana e Welinton, ao meu irmão, Levy, e a toda minha família, pelo imenso esforço, apoio, amor e compreensão em todos os momentos. Dedico a eles esta conquista.

À Letícia Barbosa de Lacerda e ao Pedro Gomes Peixoto, amigos que se tornaram parte essencial desta trajetória. Se não fosse pelo apoio incondicional, pelas conversas sinceras, pelas lágrimas divididas e pelas alegrias celebradas juntos, esta conquista não teria o mesmo significado — talvez nem mesmo tivesse sido possível. Levarei para sempre no coração a força, o carinho e a amizade de vocês.

Aos amigos e companheiros de caminhada em Jaboticabal — Sabrina Oliveira, Joice Mendonça, Juliana Vieira, Lana Carvalho, Vinícius Cesarin, Sarah Caroline, Betina Athaide, Francine Silvério, Jeane Leite, Gustavo Gomes, Lara Fernandes, Beatriz Souza, Fabricio Vasconcelos — expresso minha mais

profunda gratidão. A amizade, o apoio e os momentos compartilhados com vocês foram fundamentais para tornar esta jornada mais leve e significativa.

À minha companheira, Bianca Costa Nascimento, que chegou recentemente à minha vida, mas já ocupa um lugar imenso no meu coração. Sua presença trouxe novos sonhos, leveza e esperança para o futuro. Quero que esta seja apenas a primeira de muitas conquistas que vamos compartilhar e construir juntos ao longo de nossa vida.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Biologia e Criação de Insetos — José Roberto, Ariane Assine, Noemi Liquita, Dagmara Gomes, Vinícius Dorigan, Lucas, Márcio Aparecido, Tainá Alves, Eduardo Bordignon e Gabriela Carvalho — pela colaboração nas atividades, apoio técnico e amizade.

Aos amigos de graduação e para a vida — Breno Alexandre, Kayro Barra Mansa, João Pedro Gama, Thiago Santos, Ricardo Alves e Dalila Pereira — que, mesmo à distância, estiveram presentes com apoio e amizade.

À CNPq e a Usina São Martinho S/A, pelo suporte financeiro a este projeto.

Ao IFSULDEMINAS – Campus Machado e a seus funcionários e professores, pelo apoio e pela contribuição para minha formação profissional.

E a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigado!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais	1
1. Introdução	1
2. Revisão de Literatura	3
3. Referências	11
CAPÍTULO 2 - Insecticidal activity of plant-derived compounds against <i>Diatraea saccharalis</i> Fabr. (Lepidoptera: Crambidae)	19
1. Introduction	1
2. Methods	22
3. Results	26
4. Discussion	28
5. Conclusion	31
6. References	31
CAPÍTULO 3 - Efeitos subletais de três inseticidas de origem botânica no desenvolvimento e reprodução de <i>Diatraea saccharalis</i> (Lepidoptera: Crambidae)	43
1. Introdução	44
2. Material e Métodos	46
3. Resultados	48
4. Discussão	50
5. Conclusão	54
6. Referências	54
CAPÍTULO 4 - Efeitos de inseticidas botânicos sobre o consumo e sobrevivência de <i>Xylocoris sordidus</i> (Hemiptera: Anthocoridae) alimentado com ovos tratados de <i>Diatraea saccharalis</i> (Lepidoptera: Crambidae)	62
1. Introdução	62
2. Material e Métodos	65
3. Resultados e Discussão	70
4. Conclusão	74
5. Referências	75

CAPÍTULO 5 – Considerações finais	86
--	-----------

**AValiação DA ATIVIDADE INSETICIDA DE COMPOSTOS ATIVOS DE
ORIGEM VEGETAL NA BROCA-DA-CANA, *Diatraea saccharalis* (Fabricius)
(LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE), E NO PREDADOR DE OVOS *Xylocoris
sordidus* (Reuter) (HEMIPTERA: ANTHOCORIDAE)**

RESUMO - A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das principais culturas agroindustriais do Brasil, e tem na broca-da-cana, *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae), sua principal praga. O Manejo Integrado da broca é baseado no controle biológico e em aplicações de inseticidas sintéticos. Entretanto, a preocupação crescente com impactos ambientais e riscos a organismos não alvo reforça a necessidade de alternativas mais sustentáveis, como compostos botânicos com atividade inseticida e maior seletividade. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a atividade inseticida de compostos ativos de origem vegetal sobre *D. saccharalis* e sua seletividade ao predador de ovos *Xylocoris sordidus* (Hemiptera: Anthocoridae), visando gerar subsídios para sua inserção em programas de MIP na cultura da cana-de-açúcar. Foram conduzidos bioensaios em condições de laboratório e de casa de vegetação com três monoterpenos (timol, carvacrol e 1,8-cineol), aplicados em diferentes concentrações e vias de exposição. Em laboratório, o carvacrol apresentou a maior toxicidade larval ($CL_{50} = 2,20$ mg/L), seguido de 1,8-cineol ($CL_{50} = 4,43$ mg/L) e timol ($CL_{50} = 9,60$ mg/L). Para ovos, timol e carvacrol promoveram 100% de inviabilidade embrionária a 5,0 mg/L, enquanto 1,8-cineol alcançou 47,6% de efeito ovicida a 8,0 mg/L. Em casa de vegetação, os três compostos mantiveram efeito ovicida relevante, embora com redução de eficácia em relação ao laboratório, com timol e carvacrol atingindo 98,43% e 89,25% de inviabilidade, respectivamente, e 1,8-cineol 60,76%. Esses resultados demonstram que timol e carvacrol são particularmente promissores para o controle de ovos e larvas de *D. saccharalis*, mas evidenciam também a influência de fatores ambientais sobre a estabilidade e o desempenho dos monoterpenos. Doses subletais dos compostos afetaram componentes de aptidão da praga. A pupação foi reduzida por carvacrol e 1,8-cineol, a eclosão de ovos decaiu em todos os tratamentos, e a fecundidade foi reduzida apenas pelo carvacrol. As tabelas de vida indicaram que o carvacrol promoveu a maior supressão populacional, reduzindo a taxa líquida de reprodução (R_0) e a taxa intrínseca de crescimento (r_m) e aumentando o tempo de duplicação (D_t); o 1,8-cineol apresentou efeito intermediário, centrado na viabilidade dos ovos, enquanto o timol manteve um perfil demográfico próximo ao controle. Esses resultados mostram que, mesmo sem alterar a cronologia do ciclo, monoterpenos podem desacelerar o crescimento populacional de *D. saccharalis* por meio de efeitos subletais cumulativos sobre pupação, eclosão e fecundidade. No quarto capítulo, foi investigada a seletividade desses compostos ao predador *X. sordidus*, utilizando ovos de *D. saccharalis* tratados com timol, carvacrol ou 1,8-cineol. Bioensaios de toxicidade por contato e ingestão indicaram que a via de contato é mais nociva para ninfas de quarto ínstar e adultos, com timol e carvacrol exibindo maior toxicidade, enquanto 1,8-cineol foi o menos prejudicial. Em testes de consumo, *X. sordidus* manteve maior atividade predatória sobre ovos tratados com 1,8-cineol, ao passo que timol e carvacrol reduziram significativamente o consumo,

evidenciando efeitos negativos sobre o desempenho alimentar do predador. Em conjunto, os resultados indicam que timol e carvacrol possuem elevado potencial para o controle de *D. saccharalis*, combinando efeitos letais e subletais sobre ovos e larvas, enquanto o 1,8-cineol se destaca como o composto mais compatível com *X. sordidus*. Do ponto de vista aplicado, essas informações reforçam que compostos botânicos podem integrar o manejo de *D. saccharalis*, desde que suas estratégias de uso considerem simultaneamente eficácia sobre a praga e segurança aos inimigos naturais, incluindo a definição de doses, janelas de aplicação e combinações com liberações de parasitoides e predadores.

Palavras-Chave: 1,8-cineol, carvacrol, inseticidas botânicos, manejo integrado de pragas, timol, seletividade.

**EVALUATION OF THE INSECTICIDAL ACTIVITY OF PLANT-DERIVED
ACTIVE COMPOUNDS AGAINST THE SUGARCANE BORER, *Diatraea
saccharalis* (Fabricius) (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE), AND THE EGG
PREDATOR *Xylocoris sordidus* (Reuter) (HEMIPTERA: ANTHOCORIDAE)**

ABSTRACT - *Sugarcane* (*Saccharum* spp.) is one of the main agro-industrial crops in Brazil and has the sugarcane borer, *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae), as its key pest. Integrated management of this borer is based on biological control and applications of synthetic insecticides. However, growing concern about environmental impacts and risks to non-target organisms reinforces the need for more sustainable alternatives, such as botanical compounds with insecticidal activity and greater selectivity. In this context, the aim of this study was to evaluate the insecticidal activity of plant-derived active compounds against *D. saccharalis* and their selectivity to the egg predator *Xylocoris sordidus* (Hemiptera: Anthocoridae), in order to provide support for their integration into IPM programs in sugarcane crops. Laboratory and greenhouse bioassays were conducted with three monoterpenes (thymol, carvacrol, and 1,8-cineole), applied at different concentrations and via different exposure routes. Under laboratory conditions, carvacrol showed the highest larval toxicity ($LC_{50} = 2.20$ mg/L), followed by 1,8-cineole ($LC_{50} = 4.43$ mg/L) and thymol ($LC_{50} = 9.60$ mg/L). For eggs, thymol and carvacrol caused 100% embryonic inviability at 5.0 mg/L, whereas 1,8-cineole achieved 47.6% ovicidal effect at 8.0 mg/L. In the greenhouse, all three compounds maintained relevant ovicidal activity, although with reduced efficacy compared with the laboratory, with thymol and carvacrol reaching 98.43% and 89.25% inviability, respectively, and 1,8-cineole 60.76%. These results show that thymol and carvacrol are particularly promising for the control of *D. saccharalis* eggs and larvae, but also highlight the influence of environmental factors on monoterpene stability and performance. Sublethal doses of the compounds affected pest fitness components. Pupation was reduced by carvacrol and 1,8-cineole, egg hatching declined in all treatments, and fecundity was reduced only by carvacrol. Life-table analyses indicated that carvacrol promoted the greatest population suppression, reducing the net reproductive rate (R_0) and intrinsic rate of increase (r_m) and increasing the doubling time (D_t); 1,8-cineole had an intermediate effect, mainly on egg viability, whereas thymol maintained a demographic profile close to the control. These results show that, even without altering the timing of the life cycle, monoterpenes can slow *D. saccharalis* population growth through cumulative sublethal effects on pupation, hatching, and fecundity. In the fourth chapter, the selectivity of these compounds to the predator *X. sordidus* was investigated using *D. saccharalis* eggs treated with thymol, carvacrol, or 1,8-cineole. Contact and ingestion toxicity bioassays indicated that the contact route is more harmful to fourth-instar nymphs and adults, with thymol and carvacrol exhibiting higher toxicity, whereas 1,8-cineole was the least detrimental. In prey-consumption tests, *X. sordidus* maintained higher predatory activity on eggs treated with 1,8-cineole, whereas thymol and carvacrol significantly reduced consumption, revealing negative effects on the predator's feeding performance. Taken together, the results

indicate that thymol and carvacrol have high potential for the control of *D. saccharalis*, combining lethal and sublethal effects on eggs and larvae, whereas 1,8-cineole stands out as the most compatible compound with *X. sordidus*. From an applied perspective, these findings reinforce that botanical compounds can be integrated into *D. saccharalis* management, provided that their use strategies simultaneously consider efficacy against the pest and safety to natural enemies, including the definition of doses, application windows, and combinations with parasitoid and predator releases.

Key Words: 1,8-cineole, carvacrol, botanical insecticides, integrated pest management, thymol, selectivity.

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1. Introdução

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das culturas agrícolas mais importantes para a economia brasileira, destacando-se como matéria-prima para a produção de açúcar, etanol e bioenergia (Rossi et al., 2021; Wiesberg et al., 2021; Liu et al., 2023). Historicamente, o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. No levantamento mais recente da CONAB (safra 2025/26), estima-se 668,8 milhões de toneladas de cana em 8,85 milhões de hectares a serem colhidos. Os principais estados produtores são São Paulo, seguido de Minas Gerais e de Goiás (CONAB, 2025). Porém, a produção incorre de desafios fitossanitários significativos, como os insetos-praga que incidem sobre os canaviais causam prejuízos anuais da ordem de bilhões de reais (Alves et al., 2024; Mehdi et al., 2024; Xavier et al., 2024). Dentre essas pragas, a broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*) (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae) destaca-se como uma das mais prejudiciais, presente em todas as regiões canavieiras do Brasil (Francischini et al., 2017; Alves et al., 2024)

As larvas da broca-da-cana, ao se alimentarem no interior dos colmos, formam galerias que interrompem o fluxo de seiva, provocando a morte de gemas e perfilhos em plantas jovens, além de reduzir o peso e o teor de sacarose dos colmos infestados (Rossato et al., 2013; Hernández-García et al., 2015; Tomaz et al., 2018; Li et al., 2024). Esses danos também favorecem a entrada de fungos oportunistas, como *Colletotrichum falcatum* (Rossato et al., 2013; Gallan et al., 2023). Sabe-se que infestações não controladas podem reduzir tanto a produtividade agrícola quanto a qualidade industrial da cana. Estima-se que cada 1% de entrenós infestados pela broca acarrete aproximadamente 0,77% de perda em peso de colmos e 0,25% de perda na produção de açúcar. Em termos nacionais, níveis de infestação em torno de 3–4%, implicam em reduções de dezenas de milhões de toneladas na safra e prejuízos superiores a R\$ 4–5 bilhões por ano ao setor sucroenergético (Salvatore et al., 2010; Francischini et al., 2017). Não por acaso, a broca-da-cana é responsável por mais da metade dos prejuízos econômicos atribuídos às pragas da cana-de-açúcar (Alves et al., 2024).

Nesse cenário, o Manejo Integrado de Pragas (MIP) torna-se indispensável na cultura da cana, entre os pilares do MIP, o controle biológico tem papel de destaque e tradição na canavieira brasileira (Gomes Garcia et al., 2024; Li et al., 2024; Taguti et al., 2024). Programas de controle biológico bem-sucedidos incluem a utilização de parasitoides. A vespa *Cotesia flavipes* (Cameron, 1891) (Hymenoptera: Braconidae) foi introduzida na década de 1970 e liberada em campo para parasitar as lagartas dentro dos colmos (Laranjeira Rôdas et al., 2019; Alves et al., 2024; Abreu Reis et al., 2025). Além disso, *Trichogramma galloi* Zucchi, 1988 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) é empregado para parasitar os ovos de *D. saccharalis*, com ampla utilização em liberações comerciais no Brasil (Gomes Garcia et al., 2024). Esses programas contribuíram significativamente para a redução das infestações da broca-da-cana de forma ambientalmente segura (Wilson et al., 2020; Wilson et al., 2022).

Adicionalmente, estudos recentes têm explorado o uso de predadores generalistas como aliados no controle dessa praga (Souza et al., 2022; Arroyo et al., 2023; Braghini et al., 2024; Li et al., 2024). Um exemplo é *Xylocoris sordidus* (Hemiptera: Anthocoridae), um percevejo predador que testado como agente de biocontrole complementar no ecossistema da cana (Nunes, 2022). Resultados de laboratório indicam que ninfas e adultos de *X. sordidus* apresentam elevada capacidade predatória sobre ovos de lepidópteros-praga (Dos Santos et al., 2020), podendo atuar em sinergia com parasitoides como *T. galloi* no controle da broca-da-cana.

Em paralelo ao controle biológico, práticas químicas continuam sendo amplamente utilizadas contra pragas da cana, baseadas em inseticidas sintéticos (Wilson et al., 2022). No entanto, o uso intensivo e por vezes inadequado desses compostos químicos tem resultado em problemas como resistência de populações de insetos, contaminação ambiental e riscos à saúde humana (Sánchez-Bayo e Tennekes 2020; Acayaba et al., 2021; Bonmatin et al., 2021; Panis et al., 2022). Esse contexto tem motivado a busca por alternativas de controle mais sustentáveis e seletivas. Entre elas, destacam-se os inseticidas botânicos, que são obtidos a partir de substâncias ativas derivadas de plantas com efeito inseticida, repelente ou regulador sobre pragas. Diversas espécies vegetais das famílias Meliaceae, Rutaceae, Asteraceae, entre outras, já foram identificadas como fontes de compostos inseticidas naturais (Souto et al., 2021;

Tlak Gajger e Dar 2021; Ayilara et al., 2023). Tais produtos de origem vegetal tendem a apresentar menor persistência no ambiente e toxicidade reduzida a organismos não-alvo, características desejáveis em programas de MIP (Castilhos et al. 2018; Luna-Cruz et al. 2018; Lima et al. 2020; Ahmed et al. 2022). Não obstante, a eficácia inseticida e a seletividade desses botânicos podem variar amplamente conforme a origem do extrato e a praga-alvo, requerendo pesquisas específicas em cada caso.

Diante da importância da cana-de-açúcar e dos desafios impostos pela broca-da-cana, o objetivo geral do presente trabalho foi avaliar a atividade inseticida de compostos ativos de origem vegetal sobre a broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*) e sobre o predador de ovos *Xylocoris sordidus*, visando desenvolver alternativas de controle que integrem eficácia contra a praga e segurança aos inimigos naturais, contribuindo para um manejo integrado de pragas mais sustentável na cultura da cana-de-açúcar.

4. Conclusão

O predador *X. sordidus* demonstrou potencial para o controle de ovos de *D. saccharalis*, inclusive quando contaminados pelos inseticidas botânicos testados, com 1,8-cineol se mostrando menos tóxico e o que menos afetou o

consumo de ovos da presa, sendo, portanto, mais compatível para uso em associação com este inimigo natural. Por outro lado, timol e carvacrol, embora eficazes contra *D. saccharalis*, apresentaram maior risco de impacto negativo sobre o predador, comprometendo tanto a sobrevivência quanto o desempenho alimentar. Estes resultados reforçam a importância de avaliar simultaneamente efeitos letais e subletais para garantir a seletividade e a sustentabilidade no MIP, sugerindo que o 1,8-cineol possa ser integrado de forma segura ao controle biológico aplicado em sistemas agrícolas como o da cana-de-açúcar.

5. Referências

- Adhikary L, Smith HA, Lahiri S (2025) Daily prey consumption and functional response of *Orius insidiosus*: implications for biological control of *Scirtothrips dorsalis* in strawberries. **Insects** 16(2):205. <https://doi.org/10.3390/insects16020205>
- Ahmed N, Alam M, Saeed M, Ullah H, Iqbal T, Awadh Al-Mutairi K, Shahjeer K, Ullah R, Ahmed S, Abd Aleem Hassan Ahmed N (2022) Botanical insecticides are a non-toxic alternative to conventional pesticides in the control of insects and pests. In: Abdel Farag El-Shafie H (Ed.) Global decline of insects. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.107387>
- Apoorva MS, Kundlas K (2024) Negative impacts of intensive agricultural practices on environment and ecosystem: a review. **International Journal of Research in Agronomy** 7:285–289. <https://doi.org/10.33545/2618060X.2024.v7.i12d.2146>
- Arroyo RM, De Souza JM, Da Silva Nunes G, Ramalho DG, De Bortoli SA (2023) *Euborellia annulipes* mortality and predation on *Diatraea saccharalis* eggs after application of chemical and biological insecticides. **Agricultural Sciences** 14:11–22. <https://doi.org/10.4236/as.2023.141002>
- Atencio R, Goebel F-R, Miranda RJ (2019) Entomofauna associated with sugarcane in Panama. **Sugar Tech** 21:605–618. <https://doi.org/10.1007/s12355-018-0661-8>
- Ayllón-Gutiérrez R, López-Maldonado EA, Macías-Alonso M, González Marrero J, Díaz-Rubio L, Córdova-Guerrero I (2023) Evaluation of the stability of a 1,8-cineole nanoemulsion and its fumigant toxicity effect against the pests *Tetranychus urticae*, *Rhopalosiphum maidis* and *Bemisia tabaci*. **Insects** 14(7):663. <https://doi.org/10.3390/insects14070663>
- Baker BP, Green TA, Loker AJ (2020) Biological control and integrated pest management in organic and conventional systems. **Biological Control** 140:104095. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104095>

Ballal CR, Akbar SA, Yamada K, et al. (2018) Annotated catalogue of the flower bugs from India (Heteroptera: Anthocoridae, Lasiocilidae). **Acta Entomologica Musei Nationalis Pragae** 58:207–226. <https://doi.org/10.2478/aemnp-2018-0018>

Barik A (2021) Phyto-antifeedants. In: Omkar (Ed.) Molecular approaches for sustainable insect pest management. Springer, Singapore, pp. 283–332. https://doi.org/10.1007/978-981-16-3592-2_11

Bartling M-T, Brandt A, Hollert H, Vilcinskis A (2024) Current insights into sublethal effects of pesticides on insects. **International Journal of Molecular Sciences** 25(11):6007. <https://doi.org/10.3390/ijms25116007>

Casas JL, López Santos-Olmo M, Sagarduy-Cabrera A, Marcos-García MÁ (2025) Evaluation of selected plant essential oils for aphid pest control in integrated pest management. **Insects** 16(4):353. <https://doi.org/10.3390/insects16040353>

Castilhos RV, Grützmacher AD, Coats JR (2018) Acute toxicity and sublethal effects of terpenoids and essential oils on the predator *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae). **Neotropical Entomology** 47(2):311–317. <https://doi.org/10.1007/s13744-017-0547-6>

Damascena AP, De Araujo Junior LM, Tamashiro LAG, Pratissoli D (2025) Toxicity of fixed oils, essential oils and isolated chemicals to *Heterorhabditis amazonensis* and *Steinernema rarum*. **Stresses** 5(1):15. <https://doi.org/10.3390/stresses5010015>

Desneux N, Decourtye A, Delpuech JM (2007) The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annual Review of Entomology** 52:81–106. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091440>

Estevão IC, De Bortoli SA, Santos ILP, Nascimento VF, Ramalho DG (2022) Preferência de *Xylocoris sordidus* na predação de ovos de *Diatraea saccharalis* contaminados por inseticidas químicos, biológicos e vegetais. In: XXIV CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP. **Anais eletrônicos...** Jaboticabal: Unesp: Even3. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/xxxivcicunesp/607280-preferencia-de-xylocoris-sordidus-na-predacao-de-diatraea-saccharalis-contaminada-por-inseticidas-quimicos-biolo/>>. Acesso em: 22 set. 2025.

Farinelli JBM, Horita K, Santos DFL (2018) Analysis of the economic viability of the peanut crop in the region of Jaboticabal, São Paulo. **Científica** 46:215–220. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2018v46n3p215-220>

Gaire S, Scharf ME, Gondhalekar AD (2019) Toxicity and neurophysiological impacts of plant essential oil components on bed bugs (Cimicidae: Hemiptera). **Scientific Reports** 9:3961. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40275-5>

Ghasemzadeh S, Messelink GJ, Avila GA, Zhang Y (2022) Sublethal impacts of essential plant oils on biochemical and ecological parameters of the predatory mite *Amblyseius swirskii*. **Frontiers in Plant Science** 13:923802. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.923802>

Giunti G, Benelli G, Palmeri V, Laudani F, Ricupero M, Ricciardi R, Maggi F, Lucchi A, Guedes RNC, Desneux N (2022) Non-target effects of essential oil-based biopesticides for crop protection: impact on natural enemies, pollinators, and soil invertebrates. **Biological Control** 176:105071. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105071>

Glavan G, Novak S, Božič J, Jemec Kokalj A (2020) Comparison of sublethal effects of natural acaricides carvacrol and thymol on honeybees. **Pesticide Biochemistry and Physiology** 166:104567. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104567>

Gonzaga BCF, Barrozo MM, Coutinho AL, Pereira E Sousa LJM, Vale FL, Marreto L, Marchesini P, De Castro Rodrigues D, De Souza EDF, Sabatini GA, et al. (2023) Essential oils and isolated compounds for tick control: advances beyond the laboratory. **Parasites & Vectors** 16:415. <https://doi.org/10.1186/s13071-023-05969-w>

Gostin IN, Popescu IE (2023) Evaluation of the essential oils used in the production of biopesticides: assessing their toxicity toward both arthropod target species and beneficial pollinators. **Agriculture** 14:81. <https://doi.org/10.3390/agriculture14010081>

Hassan E, Obaidoon Y, Mostafiz MM, Senior L (2023) Effect of plant essential oil formulations on *Bemisia tabaci* MEAM1 (Gennadius) and its parasitoid *Eretmocerus hayati* (Zolnerowich and Rose). **Plants** 12:4137. <https://doi.org/10.3390/plants12244137>

Hikal WM, Baeshen RS, Said-Al Ahl HAH (2017) Botanical insecticide as simple extractives for pest control. **Cogent Biology** 3:1404274. <https://doi.org/10.1080/23312025.2017.1404274>

Imamura T, Murata M, Miyanoshita A (2008) Biological aspects and predatory abilities of hemipterans attacking stored-product insects. **Japan Agricultural Research Quarterly** 42:1–6. <https://doi.org/10.6090/jarq.42.1>

Iqbal T, Ahmed N, Shahjeer K, Ahmed S, Al-Mutairi, KA, Khater HF, Ali, FR (2022) Botanical insecticides and their potential as anti-insect/pests: are they successful against insects and pests? In: Abdel Farag El-Shafie H (Ed.) Global decline of insects. IntechOpen.

Isman MB (2020) Botanical insecticides in the twenty-first century—fulfilling their promise? **Annual Review of Entomology** 65:233–249. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025010>

Isman MB, Grieneisen ML (2014) Botanical insecticide research: many publications, limited useful data. **Trends in Plant Science** 19:140–145. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.11.005>

Lacerda LB, Nascimento VF, Souza JM, Alves TO, Ramalho DG, Bortoli SA (2024) Extratos aquosos de sementes de araticum (*Annona coriacea* Mart) provocam mortalidade de *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae)? **Cadernos de Agroecologia** 19(1):1-6.

Martinou AF, Stavriniades MC (2015) Effects of sublethal concentrations of insecticides on the functional response of two mirid generalist predators. **PLoS ONE** 10:e0144413. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144413>

Meng LW, Yuan GR, Chen M (2023) Cuticular competing endogenous RNAs regulate insecticide penetration and resistance in a major agricultural pest. **BMC Biology** 21:187. <https://doi.org/10.1186/s12915-023-01694-z>

Miresmailli S, Isman MB (2014) Botanical insecticides inspired by plant–herbivore chemical interactions. **Trends in Plant Science** 19:29–35. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.10.002>

Miyoshi SC, Furlan FF, Giordano RC (2024) Life cycle assessment of peanut production in sugarcane renovation areas in Southeast Brazil. **Environment, Development and Sustainability**. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05850-5>

Natal CM, Fernandes MJG, Pinto NFS (2021) New carvacrol and thymol derivatives as potential insecticides: synthesis, biological activity, computational studies and nanoencapsulation. **RSC Advances** 11:34024–34035. <https://doi.org/10.1039/D1RA05616F>

Ndakidemi B, Mtei K, Ndakidemi PA (2016) Impacts of synthetic and botanical pesticides on beneficial insects. **Agricultural Sciences** 7:364–372. <https://doi.org/10.4236/as.2016.76038>

Noronha VC, Figueira SRF (2021) Impacto das variáveis econômicas da produção canavieira em São Paulo: recorte para Araraquara, Jaboticabal, Piracicaba, Ribeirão Preto e São Carlos, 2001–2016. **Cuyonomics. Investigaciones en Economía Regional** 5. <https://doi.org/10.48162/rev.42.037>

Nunes LS (2023) Comportamento de predação de *Xylocoris sordidus* com ovos de *Diatraea saccharalis* e *Corcyra cephalonica* parasitados e não parasitados por *Trichogramma galloi*. Trabalho de Conclusão (Ciências Biológicas), FCAV-Unesp, Jaboticabal, SP.

Oliveira SJ, Nascimento VF, Lacerda LB, Souza JM, Ramalho DG, Izidro YE, De Bortoli SA (2024). Predator–prey interaction between *Xylocoris sordidus* (Hemiptera: Anthocoridae) and *Enneothrips enigmaticus* (Thysanoptera: Thripidae). **Neotropical Entomology** 53:391–399. <https://doi.org/10.1007/s13744-023-01126-1>

Pan J, Cheng G, Liu M, Pan X, Ouyang Z, Lu Z, Du, Y. (2025) Impact of direct contact and ingestion of selected insecticides on the predator *Harmonia axyridis* of citrus psyllids. **Insects** 16(2):126. <https://doi.org/10.3390/insects16020126>

Pang R, Chen B, Wang S, Chi Y, Huang S, Xing D, Yao, Q. (2023) Decreased cuticular penetration minimizes the impact of the pyrethroid insecticide λ -cyhalothrin on the insect predator *Eocanthecona furcellata*. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 249 (1):114369. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114369>

Park JH, Jeon YJ, Lee CH, Chung N, Li H-S (2017) Insecticidal toxicities of carvacrol and thymol derived from *Thymus vulgaris* Lin. against *Pochazia shantungensis* Chou & Lu., newly recorded pest. **Scientific Reports** 7:40902. <https://doi.org/10.1038/srep40902>

Parkins AJ, Kheirodin A, Perier JD, Cremonese PSG, Riley DG, Simmons AM, Schmidt JM (2024) Direct and indirect effects of selective insecticides on two generalist predators of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). **Journal of Insect Science** 24:1. <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieae104>

Pedroso EC, De Bortoli SA, Silva RJ (2009) Ocorrência do gênero *Xylocoris* Dufour, 1831 (Hemiptera: Anthocoridae) em Jaboticabal, SP. **O Biológico** 71(2):83–202.

Peng L, Lu D, Chen J, Hu X, Fang Z, Zhao Y (2025) The insecticidal toxicity of thymol and carvacrol to brown planthopper and the novel control strategy based on their disruption of the cuticular hydrophobicity. **Pesticide Biochemistry and Physiology** 210:106395. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2025.106395>

Pimenta ICO, Nunes GS, Magalhães GO, Santos, NA, Pinto MMD, De Bortoli, SA (2020). Effects of a Bt-based insecticide on the functional response of *Ceraeochrysa cincta* preying on *Plutella xylostella*. **Ecotoxicology** 29:856–865. <https://doi.org/10.1007/s10646-020-02244-x>

Petcharad B, Košulić O, Michalko R (2018) Insecticides alter prey choice of potential biocontrol agent *Philodromus cespitum* (Araneae, Philodromidae). **Chemosphere** 202:491–497. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.134>

Qasim M, Islam W, Rizwan M, Hussain D, Noman A, Khan KA, Ghramh HA, Han X (2024) Impact of plant monoterpenes on insect pest management and insect-associated microbes. **Heliyon** 10(20):e39120. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39120>

Rani L, Thapa K, Kanojia N, Sharma N, Singh S, Grewal AS, Srivastav AL, Kaushal J (2021) An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. **Journal of Cleaner Production** 283:124657. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124657>

Ribeiro AV, Farias EDS, Santos AA, Filomeno CA, Santos IBD, Barbosa LCA, Picanço MC (2018) Selection of an essential oil from *Corymbia* and *Eucalyptus* plants against *Ascia monuste* and its selectivity to two non-target organisms. **Crop Protection** 110:207–213. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.08.014>

Rodríguez A, Beato M, Usseglio VL, Camina J, Zyglado JA, Dambolena JS, Zunino MP (2022) Phenolic compounds as controllers of *Sitophilus zeamais*: A look at the structure-activity relationship. **Journal of Stored Products Research** 99:102038. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2022.102038>

Royauté R, Buddle CM, Vincent C (2015) Under the influence: sublethal exposure to an insecticide affects personality expression in a jumping spider. **Functional Ecology** 29:962–970. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12413>

Sánchez-Bayo F (2021) Indirect effect of pesticides on insects and other arthropods. **Toxics** 9(8):177. <https://doi.org/10.3390/toxics9080177>

Santos DF, Silva, BL, Farinelli JBM, Horita K, Souza CAF, Montoro SB (2019). Economic viability of peanut production on leased land in the Jaboticabal region of São Paulo State, Brazil. *Agro@mbiente On-line* 13:142. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v13i0.5342>

Santos, N.A. (2018). *Xylocoris sordidus* (Reuter) (Hemiptera: Anthocoridae): possível agente de controle biológico aplicado. 67 p. Tese (Doutorado em Entomologia), FFCLRP, USP, Ribeirão Preto, SP.

Sarmah K, Anbalagan T, Marimuthu M, Mariappan P, Angappan S, Valthiyathan, S (2025) Innovative formulation strategies for botanical- and essential oil-based insecticides. **Journal of Pest Science** 98:1–30. <https://doi.org/10.1007/s10340-024-01846-2>

Scarpin LJ, Neto MM, Malagolli GA (2013) O sistema de rotação entre amendoim e cana-de-açúcar em áreas controladas por indústrias. **Revista Interface Tecnológica** 10:95–103

Serrão JE, Plata-Rueda A, Martínez LC, Zanuncio JC (2022) Side-effects of pesticides on non-target insects in agriculture: a mini-review. **Scientific Reports Nature** 109:17. <https://doi.org/10.1007/s00114-022-01788-8>

Şen E, Genç NS (2023) Effects of five essential oils on three generalist predators and two important whitefly parasitoids. **Zemdirbyste-Agriculture** 109:279–286. <https://doi.org/10.13080/z-a.2023.110.032>

Silva WM, Martínez LC, Plata-Rueda A, Serrão JE, Zanuncio JC (2020) Respiration, predatory behavior and prey consumption by *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae) nymphs exposed to some insecticides. **Chemosphere** 261:127720. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127720>

Souza Junior SLD, Silva AADD, Silva ESD, Silva RBD, Escobar DR, Verginio R, Ferreira JDS, Silva LKPD, Santos Junior WD, Leite EL (2025) Azadirachtin A and B: a new biological tool to a sustainable management of *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae). **Brazilian Archives of Biology and Technology** 68:e25240188. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2025240188>

Suárez-López YA, Hatem AE, Aldebis HK, Vargas-Osuna E (2020) Lethal and sublethal effects of lufenuron on the predator *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae). **Crop Protection** 135:105217. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105217>

Sulg S, Kaasik R, Kallavus T, Veromann E (2023) Toxicity of essential oils on cabbage seedpod weevil (*Ceutorhynchus obstrictus*) and a model parasitoid (*Nasonia vitripennis*). **Frontiers in Agronomy** 5:1107201. <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1107201>

Tudi M, Daniel Ruan H, Wang L, Lyu J, Sadler R, Connell D, Chu C, Phung DT (2021) Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. **International Journal of Environmental Research and Public Health** 18(3):1112. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031112>

Vacari AM, Genovez GDS, Laurentis VLD, Bortoli SAD (2012) Fonte proteica na criação de *Diatraea saccharalis* e seu reflexo na produção e no controle de qualidade de *Cotesia flavipes*. **Bragantia** 71: 355-361.

van Oudenhove L, Cazier A, Fillaud M, Lavoit AV, Fatnassi H, Perez G, Calcagno V (2023) Non-target effects of ten essential oils on the egg parasitoid *Trichogramma evanescens*. **Peer Community Journal** 3:e212. <https://doi.org/10.24072/pcjournal.212>

Vieira NF (2016) Metodologia de criação, aspectos biológicos e custo de produção de *Xylocoris afer* predando ovos de *Corcyra cephalonica* e *Plutella xylostella*. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Entomologia Agrícola), Unesp, Jaboticabal, SP.

Vieira NF, Santos NA, Pinto MMD, De Bortoli SA (2021) Sistema de criação de duas espécies de percevejos predadores do gênero *Xylocoris* Dufour, 1831 e da presa alternativa *Corcyra cephalonica* (Stainton, 1866) (Lepidoptera: Pyralidae). **Entomological Communications** 3:ec03012. <https://doi.org/10.37486/2675-1305.ec03012>

Wickramasingha PD, Morrissey CA, Phillips ID, Crana AL, Chivers, DP, Ferrari, MCO (2024) Sub-lethal effects of the insecticide, imidacloprid, on the responses of damselfly larvae to chemosensory cues indicating predation risk. **Chemosphere** 356:141926. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141926>

Yactayo-Chang JP, Tang HV, Mendoza J, Christensen SA, Block AK (2020) Plant defense chemicals against insect pests. **Agronomy** 10:1156. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081156>

Yotavong P, Boonsoong B, Pluempanupat W, Koul O, Bullangpoti V (2015) Effects of the botanical insecticide thymol on biology of a braconid, *Cotesia plutellae* (Kurdjumov), parasitizing the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. **International Journal of Pest Management** 61:171–178. <https://doi.org/10.1080/09670874.2015.1030001>

Zhou W, Li M, Achal V (2025) A comprehensive review on environmental and human health impacts of chemical pesticide usage. **Emerging Contaminants** 11 (1):100410. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100410>