

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL

***Euborellia annulipes* NO MANEJO INTEGRADO DA CANA DE AÇÚCAR:
SELETIVIDADE DE INSETICIDAS, INTERAÇÃO COM VINHAÇA E
COMPATIBILIDADE COM NEMATOIDES ENTOMOPATOGÊNICOS**

MSc. Joice Mendonça de Souza
Engenheira Agrônoma

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL

***Euborellia annulipes* NO MANEJO INTEGRADO DA CANA DE AÇÚCAR:
SELETIVIDADE DE INSETICIDAS, INTERAÇÃO COM VINHAÇA E
COMPATIBILIDADE COM NEMATOIDES ENTOMOPATOGENÉTICOS**

Discente: MSc. Joice Mendonça de Souza

Orientador: Prof. Dr. Sergio Antonio De Bortoli

Coorientador: Prof. Dr. Arlindo Leal Boiça Júnior

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

S729e Souza, Joice Mendonça de
Euborellia annulipes no manejo integrado da cana de açúcar: seletividade de inseticidas, interação com vinhaça e compatibilidade com nematoides entomopatogênicos / Joice Mendonça de Souza. -- Jaboticabal, 2026
106 p. : tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Sergio Antonio De Bortoli
Coorientador: Arlindo Leal Boiça Júnior

1. Controle biológico. 2. Manejo integrado de pragas. 3. Tesourinhas.
4. Nematoides entomopatogênicos. 5. Cana-de-açúcar. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: *Euborellia annulipes* NO MANEJO INTEGRADO DA CANA DE AÇÚCAR: SELETIVIDADE DE INSETICIDAS, INTERAÇÃO COM VINHAÇA E COMPATIBILIDADE COM NEMATÓIDES ENTOMOPATOGÊNICOS

AUTORA: JOICE MENDONÇA DE SOUZA

ORIENTADOR: SERGIO ANTONIO DE BORTOLI

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

Documento assinado digitalmente
 **SERGIO ANTONIO DE BORTOLI**
Data: 03/03/2026 13:16:31-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

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

Documento assinado digitalmente
 **JACINTO DE LUNA BATISTA**
Data: 04/03/2026 08:25:47-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Jacinto de Luna Batista

Prof. Dr. JACINTO DE LUNA BATISTA (Participação Virtual)
Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais do CCA / Universidade Federal da Paraíba UFPB
- João Pessoa/PB

Documento assinado digitalmente
 **NILZA MARIA MARTINELLI**
Data: 04/03/2026 09:46:30-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

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

Documento assinado digitalmente
 **ROSANGELA CRISTINA MARUCCI**
Data: 04/03/2026 14:43:31-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Profa. Dra. ROSANGELA CRISTINA MARUCCI (Participação Virtual)
Entomologia / Universidade Federal de Lavras

Documento assinado digitalmente
 **ALESSANDRA MARIELI VACARI**
Data: 03/03/2026 15:13:19-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Profa. Dra. ALESSANDRA MARIELI VACARI (Participação Virtual)
Departamento de Ciência Animal / Universidade de Franca (UNIFRAN) - Franca/SP

Jaboticabal, 02 de março de 2026.

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

Joice Mendonça de Souza - Filha de José Mendonça Pereira (*in memoriam*) e Gislene Maria de Souza Mendonça, natural de Monte Carmelo, MG, nascida no dia 14 de novembro de 1995. Engenheira Agrônoma graduada pelas Faculdades Associadas de Uberaba (FAZU), Uberaba, MG, em agosto de 2018. Durante dois anos da graduação (2016 e 2017) foi bolsista de iniciação científica financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), desenvolvendo o projeto de conclusão de curso na linha de pesquisa em Controle Biológico Conservativo sob orientação do Prof. Dr. Diego Felisbino Fraga. No ano de 2019 iniciou curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Entomologia Agrícola) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, sob orientação do Prof. Dr. Sergio Antonio De Bortoli na linha de pesquisa de Biologia e Criação de Insetos, sendo bolsista fomentada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES. Em Agosto de 2021 iniciou o doutoramento no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Entomologia Agrícola) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, com a orientação do Prof. Dr. Sergio Antonio De Bortoli com bolsa de estudos da CAPES. Desenvolveu o projeto de Tese na linha de pesquisa de Biologia de insetos, seletividade de inimigo natural a inseticidas químicos e biológicos, assim como a compatibilidade entre diferentes métodos de controle. Publicou artigos em revistas especializadas nacionais e internacionais, participou de eventos científicos, como Congresso Brasileiro e latino-americano de Entomologia e Simpósio de Controle Biológico, com apresentação de trabalhos e competições científicas.

E-mail: joyce.mendonca@unesp.br

“Confia no Senhor de todo o teu coração e não te apoies no teu próprio entendimento.”

Provérbios 3:5

“Tenha sempre como meta, muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus.”

Ayrton Senna

“São as nossas escolhas que revelam o que realmente somos, muito mais do que nossas qualidades.”

Harry Potter

Aos meus pais, José Mendonça (in memoriam) e Gislene, por sempre acreditarem em minhas capacidades, apoiarem meus sonhos e por todos os ensinamentos e valores transmitidos.

Ao meu irmão Leonardo, por todo carinho e companheirismo.

OFEREÇO E DEDICO

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, pelo dom da vida, pela proteção, pelas oportunidades, por ter iluminado os caminhos por onde passei e fortalecido a 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 Fitossanidade e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Entomologia Agrícola), pela oportunidade da realização do curso de Doutorado.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Sergio Antonio De Bortoli, que é um grande professor, incentivador e inspirador, obrigada por toda a confiança, pela excelente orientação, paciência, compreensão e conhecimentos indispensáveis para a realização deste trabalho, e pela colaboração na minha formação profissional e pessoal.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Arlindo Leal Boiça Júnior, por todos os conhecimentos transmitidos durante o período de pós-graduação, pelo apoio, disponibilidade e contribuições durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Entomologia Agrícola) pela convivência e ensinamentos transmitidos no decorrer do curso.

À minha mãe, meu irmão Leonardo, minha cunhada Andressa, minhas sobrinhas Teodora e Florença, e toda minha família, pelo imenso esforço, apoio, amor e compreensão em todos os momentos. Dedico a eles esta conquista.

Ao meu companheiro, Raphael A. N. Gonzalez, pelo apoio constante, paciência e incentivo ao longo desta jornada. Obrigada por caminhar ao meu lado, seu carinho, amor e compreensão foram essenciais para a conclusão desta tese.

Agradeço à Dra. Dagmara Gomes Ramalho, pelos ensinamentos, amizade e colaboração na realização deste trabalho.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Biologia e Criação de Insetos — Letícia Barbosa de Lacerda, Vinícius Ferraz Nascimento, José Roberto de Araújo Teixeira, Sarah Caroline da Silva, Ariane Assine, Noemi Mírian Liquita de Oliveira, Vinícius Dorigan, Bruno Orlandi Valério Júnior, Felipe Scarelli Tavares,

Lucas Bernardi, Márcio Aparecido de Melo, Tainá Oliveira Alves, Giovanna Botelho Lima de Paula Santos, Eduardo de Novais Bordignon, Gabriela Carvalho Cunha, Enzo Luigi Carregari Benelli e Isabela Cristina de Oliveira Pimenta pela colaboração nas atividades, apoio técnico e amizade.

Aos colegas e amigos do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Entomologia Agrícola) pela convivência, bons momentos e amizade durante todo o curso, em especial à Sabrina Cerarin de Oliveira, Letícia Barbosa de Lacerda, Vinícius Ferraz Nascimento, Lana Letícia Barbosa de Carvalho e Vinícius Cesarin.

Aos excelentes amigos que fiz em Jaboticabal, especialmente na República Agrotóxico e República Mete Marcha, pela amizade sincera, grande parceria e ótimos momentos de alegria e descontração.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

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

Muito obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO.....	xi
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais.....	1
1. Introdução	1
2. Revisão de literatura	2
2.1. Introdução geral ao manejo de pragas na cana-de-açúcar.....	2
2.1.1. Importância econômica da cana-de-açúcar no Brasil.....	3
2.1.2. Principais pragas associadas à cultura	4
2.1.3. <i>Sphenophorus levis</i>	5
2.1.4. Danos e importância econômica de <i>Sphenophorus levis</i>	7
2.1.5. Estratégias de manejo de <i>Sphenophorus levis</i>	9
2.1.5.1. Controle cultural.....	9
2.1.5.2. Controle químico.....	10
2.1.5.3. Controle biológico	12
2.1.5.4. Controle biológico conservativo	13
2.2. Predadores	14
2.2.1. Dermapteros como agentes de controle biológico	15
2.2.2. <i>Euborellia annulipes</i>	16
2.3. Nematoides entomopatogênicos (NEPs)	19
2.3.1. Nematoides entomopatogênicos no controle biológico de pragas ..	20
2.4. Compatibilidade entre agentes de controle.....	21
2.5. Seletividade de inseticidas a inimigos naturais.....	23
2.6. Papel da vinhaça na ecologia do solo e nos inimigos naturais	24
3. Referências	26
CAPÍTULO 2 - Seletividade e mortalidade de <i>Euborellia annulipes</i> e <i>Sphenophorus levis</i> com inseticidas químicos e biológico, associados ou não a vinhaça de cana-de-açúcar	44
Resumo	44
Abstract	45
1. Introdução	46
2. Material e métodos.....	48
2.1. Criação do predador <i>Euborellia annulipes</i>	48

2.2. Obtenção de <i>Sphenophorus levis</i>	48
2.3. Produtos utilizados	45
2.3.1. Inseticidas químicos e biológico	49
2.3.2. Vinhaça	45
2.4. Tratamentos.....	46
2.5. Bioensaios de exposição de <i>Euborellia annulipes</i> e <i>Sphenophorus levis</i> a resíduos secos.....	47
2.6. Peso do predador	48
2.7. Análise estatística.....	52
3. Resultados	49
3.1. Mortalidade de <i>Sphenophorus levis</i>	49
3.2. Período de vida e viabilidade de <i>Euborellia annulipes</i>	56
3.3. Sobrevivência de ninfas de <i>Euborellia annulipes</i>	57
3.4. Peso de adultos, razão sexual e longevidade de <i>Euborellia annulipes</i> .	59
3.5. Fecundidade e fertilidade de <i>Euborellia annulipes</i>	56
4. Discussão.....	58
5. Conclusão	65
6. Referências	65
CAPÍTULO 3 - Compatibilidade entre <i>Euborellia annulipes</i> e nematoides entomopatogênicos para uso no manejo de pragas da cana-de-açúcar	78
Resumo	78
Abstract	73
1. Introdução	74
2. Material e Métodos.....	76
2.1. Obtenção do predador e dos NEPs	76
2.2. Suscetibilidade aos NEPs.....	77
2.3. Comportamento de evitação	77
2.4. Atividade dissuasora.....	86
2.5. Análise estatística	87
3. Resultados	87
3.1. Suscetibilidade de <i>Euborellia annulipes</i> aos Neps	87
3.2. Comportamento de evitação.....	84
3.3. Atividade dissuasora.....	85
4. Discussão.....	87
5. Conclusão	90
6. Referências	98

CAPÍTULO 4 – Considerações finais	95
Referências	97

***Euborellia annulipes* NO MANEJO INTEGRADO DA CANA DE AÇÚCAR:
SELETIVIDADE DE INSETICIDAS, INTERAÇÃO COM VINHAÇA E
COMPATIBILIDADE COM NEMATOIDES ENTOMOPATOGÊNICOS**

RESUMO - A cultura da cana-de-açúcar possui elevada importância econômica para o Brasil, sendo afetada por pragas que reduzem sua produtividade e sustentabilidade. Nesse contexto, o Manejo Integrado de Pragas (MIP) é fundamental por integrar diferentes táticas de controle e priorizar métodos seletivos que preservem inimigos naturais. A tesourinha *Euborellia annulipes* destaca-se como predador importante no agroecossistema da cana, enquanto *Sphenophorus levis* está entre as principais pragas da cultura. Além disso, nematoides entomopatogênicos dos gêneros *Heterorhabditis* e *Steinernema* têm sido amplamente utilizados no controle biológico de pragas de solo, constituindo ferramenta promissora em programas de MIP. O objetivo geral desta tese foi avaliar a seletividade de inseticidas químicos e biológicos a *E. annulipes*, bem como a mortalidade de *S. levis*, considerando ainda a interação desses produtos com a vinhaça de cana-de-açúcar e a compatibilidade do predador com nematoides entomopatogênicos utilizados no controle biológico. Foi ainda constatada atividade dissuasora associada a lagartas de *Diatraea saccharalis* infectadas. Para isso, foram conduzidos bioensaios em condições de laboratório, nos quais ninfas de quinto ínstar de *E. annulipes* e adultos de *S. levis* foram expostos a resíduos secos dos inseticidas Engeo Pleno® S (tiametoxam + lambda-cialotrina), Verimark® (ciantraniliprole) e do bioinseticida Boveril® (*Beauveria bassiana*), aplicados isoladamente ou em associação à vinhaça. Para o predador, foram avaliados efeitos letais e subletais, incluindo sobrevivência, duração do estágio ninfal, peso de adultos, longevidade, fecundidade e fertilidade, enquanto para a praga foi avaliado exclusivamente o efeito letal (mortalidade). Adicionalmente, foram realizados ensaios de compatibilidade entre *E. annulipes* e diferentes espécies de NEPs (*Steinernema rarum*, *Steinernema carpocapsae* e *Heterorhabditis bacteriophora*) (Nematoda: Heterorhabditidae, Steinernematidae) avaliando-se a suscetibilidade do predador, seu comportamento de evitação a ambientes tratados e a presença de atividade dissuasora associada a presas infectadas. Os resultados demonstraram que os inseticidas químicos Engeo Pleno® S e Verimark® apresentaram elevada toxicidade, promovendo mortalidade rápida e significativa tanto em *E. annulipes* quanto em *S. levis*, evidenciando baixa seletividade ao predador. Em contraste, o bioinseticida Boveril® apresentou efeito tardio e progressivo sobre *S. levis*, compatível com seu modo de ação, não causando mortalidade significativa em *E. annulipes*, embora tenha provocado alterações subletais importantes nos parâmetros biológicos do predador. A associação dos inseticidas com vinhaça reduziu a toxicidade direta dos produtos, permitindo maior sobrevivência e desenvolvimento de *E. annulipes*, porém com impactos negativos sobre seu desempenho biológico. Para *S. levis*, essa associação resultou em redução da mortalidade em relação aos tratamentos isolados, sugerindo efeito de diluição e interferência físico-química da vinhaça na eficiência dos ingredientes ativos. Os ensaios de compatibilidade com NEPs,

observou-se suscetibilidade diferente de *E. annulipes* às espécies avaliadas, com *H. bacteriophora* apresentando seletividade ao predador, enquanto *S. rarum* e *S. carpocapsae* causaram mortalidade. Além disso, *E. annulipes* foi capaz de detectar e evitar ambientes tratados com nematoides, reduzindo o tempo de exposição a esses locais. De forma integrada, os resultados indicam que a compatibilidade entre agentes de controle biológico e químico deve considerar não apenas efeitos letais, mas também impactos comportamentais e subletais.

Palavras-chave: Controle biológico, manejo integrado de pragas, tesourinhas, nematoides entomopatogênicos, cana-de-açúcar

***Euborellia annulipes* IN INTEGRATED SUGARCANE MANAGEMENT:
INSECTICIDE SELECTIVITY, INTERACTION WITH VINASSE, AND
COMPATIBILITY WITH ENTOMOPATHOGENIC NEMATODES**

ABSTRACT - Sugarcane is of major economic importance to Brazil and is affected by pests that reduce crop productivity and sustainability. In this context, Integrated Pest Management (IPM) plays a fundamental role by combining different control tactics and prioritizing selective methods that preserve natural enemies. The earwig *Euborellia annulipes* stands out as a relevant predator in the sugarcane agroecosystem, whereas *Sphenophorus levis* is among the main pests of this crop. In addition, entomopathogenic nematodes (EPNs) of the genera *Heterorhabditis* and *Steinernema* have been widely used for the biological control of soil-dwelling pests and represent a promising tool within IPM programs. The overall objective of this thesis was to evaluate the selectivity of chemical and biological insecticides toward *E. annulipes*, as well as the mortality of *S. levis*, also considering the interaction of these products with sugarcane vinasse and the compatibility of the predator with entomopathogenic nematodes used in biological control. Laboratory bioassays were conducted in which fifth-instar nymphs of *E. annulipes* and adults of *S. levis* were exposed to dry residues of the insecticides Engeo Pleno® S (thiamethoxam + lambda-cyhalothrin), Verimark® (cyantraniliprole), and the bioinsecticide Boveril® (*Beauveria bassiana*), applied alone or in association with vinasse. For the predator, lethal and sublethal effects were assessed, including survival, nymphal duration, adult weight, longevity, fecundity, and fertility, whereas for the pest only lethal effects (mortality) were evaluated. Additionally, compatibility assays between *E. annulipes* and different EPN species (*Steinernema rorum*, *Steinernema carpocapsae*, and *Heterorhabditis bacteriophora*) (Nematoda: Heterorhabditidae, Steinernematidae) were performed, assessing predator susceptibility, avoidance behavior in treated environments, and the presence of deterrent activity associated with infected prey. The results demonstrated that the chemical insecticides Engeo Pleno® S and Verimark® exhibited high toxicity, causing rapid and significant mortality in both *E. annulipes* and *S. levis*, indicating low selectivity toward the predator. In contrast, the bioinsecticide Boveril® produced a delayed and progressive effect on *S. levis*, consistent with its mode of action, and did not cause significant mortality in *E. annulipes*, although it induced important sublethal effects on the predator's biological parameters. The association of insecticides with vinasse reduced their direct toxicity, allowing greater survival and development of *E. annulipes*, but negatively affected its biological performance. For *S. levis*, this association reduced mortality compared with insecticides applied alone, suggesting a dilution effect and physicochemical interference of vinasse with the efficacy of the active ingredients. Compatibility assays with EPNs revealed differential susceptibility of *E. annulipes* among the species tested, with *H. bacteriophora* showing selectivity toward the predator, whereas *S. rorum* and *S. carpocapsae* caused mortality. Moreover, *E. annulipes* was able to detect and avoid nematode-treated environments, reducing its exposure time. A deterrent effect was also observed in *Diatraea saccharalis* larvae infected with nematodes,

resulting in reduced predator foraging. Overall, the findings indicate that compatibility among chemical and biological control agents should consider not only lethal effects but also behavioral and sublethal impacts to ensure effective and sustainable IPM strategies.

Keywords: Biological control, integrated pest management, earwigs, entomopathogenic nematodes, sugarcane

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1. Introdução

A cana-de-açúcar, *Saccharum* spp. (Poales: Poaceae) destaca-se como uma cultura de importância econômica, social e ambiental, constituindo um dos principais sistemas produtivos do agronegócio brasileiro. Entretanto, a sustentabilidade desse sistema depende da adoção de estratégias de manejo que conciliem produtividade com a conservação dos recursos naturais e da biodiversidade (Vanolli et al., 2024). Nesse contexto, o Manejo Integrado de Pragas (MIP) destaca-se como uma abordagem essencial, ao integrar diferentes táticas de controle e reduzir a dependência do uso intensivo de inseticidas químicos, priorizando métodos seletivos e ambientalmente sustentáveis (Kogan, 1998; Desneux et al., 2007; Pedigo e Rice, 2009).

Entre as principais estratégias do MIP, o controle biológico exerce papel fundamental na regulação natural das populações de insetos-praga, principalmente por meio da ação de inimigos naturais como predadores, parasitoides e patógenos (Parra et al., 2002; Galli et al., 2024). Na cana-de-açúcar, diversos artrópodes benéficos contribuem para a supressão de pragas-chave, como *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) e *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera: Curculionidae), cujos danos comprometem significativamente a produtividade e a longevidade dos canaviais (Franco et al., 2016; Santos et al., 2017; Roy et al., 2018).

Dentre os predadores associados a esse sistema, a tesourinha *Euborellia annulipes* (Lucas, 1847) (Dermaptera: Anisolabididae), tem sido amplamente relatada como um importante agente de controle natural. Essa espécie apresenta hábito noturno, comportamento generalista e ocorrência frequente no solo e na palhada de canaviais, características que favorecem sua interação com pragas de hábito críptico e subterrâneo (Beuzelin et al., 2010; Franco et al., 2016; Arroyo et al., 2023). Além disso, sistemas de cultivo sem queima e com uso reduzido de inseticidas favorecem sua permanência e eficiência no agroecossistema, reforçando sua relevância em programas de MIP (Castro et al., 2019; Marques et al., 2019; Singh et al., 2021).

Do mesmo modo, os nematoides entomopatogênicos (NEPs) dos gêneros *Steinernema* Travassos, 1927 (Rhabditida: Sterneinematidae) e *Heterorhabditis* Poinar, 1976 (Rhabditida: Heterorhabditidae) têm se destacado como ferramentas promissoras no controle biológico de pragas de solo, devido à sua patogenicidade, rapidez de ação e segurança ambiental (Kaya e Gaugler, 1993; Grewal et al., 2005). Na cultura da cana-de-açúcar, esses agentes apresentam grande potencial no combate a *S. levis*, sendo inclusive utilizados em programas de controle biológico inundativo em diferentes regiões (Silva et al., 2021; Silva et al., 2024).

Entretanto, a utilização simultânea de agentes de controle biológico e químicos em um mesmo sistema produtivo pode resultar em interações diretas e/ou indiretas entre organismos benéficos. Estudos indicam que combinações entre predadores e entomopatógenos podem gerar efeitos aditivos, neutros ou antagonistas, influenciados pela dose, modo e momento de aplicação (Rosenheim et al., 1995; Brodeur e Boivin, 2004; Lacey et al., 2015). Embora os NEPs sejam considerados seletivos, estudos demonstram que podem afetar insetos não-alvo, seja por efeitos letais ou por alterações comportamentais, implicando na eficiência do controle e na conservação de inimigos naturais (Dolinski e Moino, 2006; Everard et al., 2009; Hodson et al., 2011; Lacey et al., 2015).

Diante da relevância do MIP na cultura da cana-de-açúcar e da necessidade de integração de diferentes táticas de controle simultaneamente, o objetivo geral desta tese foi avaliar a seletividade, a eficácia e a compatibilidade de agentes de controle biológico e químico. Foram analisadas as interações entre inseticidas, bioinseticidas e vinhaça, considerado seus efeitos letais para *S. levis* e *E. annulipes*, assim como os efeitos subletais para o predador e a compatibilidade entre *E. annulipes* e NEPs. Buscou-se, assim, gerar informações para integrar essas estratégias no manejo de pragas da cultura, promovendo o controle e a conservação de organismos benéficos.

2. Revisão de literatura

2.1. Introdução geral ao manejo de pragas na cana-de-açúcar

2.1.1. Importância econômica da cana-de-açúcar no Brasil

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas agrícolas do Brasil, que se destaca como o maior produtor mundial. Na safra 2024/25, a área colhida foi estimada em aproximadamente 8,77 milhões de hectares, resultando em uma produção total de 676,96 milhões de toneladas. O estado de São Paulo, principal produtor nacional, apresentou produção estimada em 439,6 milhões de toneladas, em uma área colhida de 5,48 milhões de hectares, embora havendo redução de produtividade em relação às safras anteriores (CONAB, 2025).

No Brasil, a cana possui grande importância econômica e estratégica, destacando-se não apenas pela produção de açúcar e etanol, mas também pelo aproveitamento de subprodutos, como vinhaça, melaço, bagaço, palha e aguardente, fundamentais para a sustentabilidade e diversificação da cadeia sucroenergética (Lopes et al., 2011; Silva et al., 2023). O uso do bagaço e da palha também tem se destacado especialmente pela geração de bioeletricidade e pela produção de etanol de segunda geração, ampliando o valor agregado da cultura e contribuindo para a redução da dependência de combustíveis fósseis (Souza et al., 2024).

Considerada uma gramínea semi-perene, a cana-de-açúcar é cultivada como um híbrido interespecífico com metabolismo fotossintético C4. Essa espécie apresenta alta eficiência na conversão de energia solar em biomassa, o que favorece o acúmulo de sacarose nos tecidos (Silva et al., 2018; Lacerda et al., 2019). A planta é composta por colmos, folhas e inflorescências, enquanto o sistema subterrâneo é formado por raízes fasciculadas e rizomas com elevado teor de reservas, responsáveis pela rebrota e manutenção do ciclo produtivo (Moore e Botha, 2013). O cultivo pode alcançar de quatro a seis anos de longevidade, podendo chegar até dez cortes sem renovação, dependendo da variedade, das condições de solo e clima, das práticas culturais e da incidência de pragas e doenças (Li, 2023).

A manutenção da produtividade da cana-de-açúcar está diretamente relacionada ao manejo eficiente dos fatores bióticos e abióticos que comprometem o desenvolvimento e a longevidade dos canaviais. Entre esses fatores, os insetos-praga se destacam por causarem danos expressivos à cultura, reduzindo o rendimento de colmos e a eficiência industrial na produção

de açúcar e etanol (Kumar et al., 2019). Em escala global, estima-se que pragas e doenças sejam responsáveis por cerca de 37% das perdas de produção, das quais aproximadamente 13% estão associadas à ação de insetos (Mehdi et al., 2024).

2.1.2. Principais pragas associadas à cultura

Pragas são organismos que causam danos diretos e/ou indiretos às plantas, afetando sua fisiologia e reduzindo a produtividade (Berti Filho e Macedo, 2011; Pedigo e Rice, 2014; Osei et al., 2021). Um inseto é considerado praga quando sua população atinge o nível de dano econômico, ou seja, quando o prejuízo causado é igual ou superior ao custo do controle, justificando assim a intervenção. Na cultura da cana-de-açúcar, mais de 80 espécies de pragas já foram registradas, podendo causar perdas de até 20% na produção (Rossetto e Santiago, 2022a).

Embora haja um grande número de insetos fitófagos associados à cana-de-açúcar, apenas algumas espécies possuem capacidade de atingir níveis populacionais de dano econômico (Dinardo-Miranda et al., 2010; Pedigo e Rice, 2014). Essas espécies estão distribuídas entre diferentes estádios fenológicos e órgãos da planta, ocorrendo desde a germinação até a fase de colheita (Mendonça, 1996; Macedo et al., 2012). Em muitos casos, o ataque nem sempre é visível de imediato, o que acarreta maiores perdas produtivas (Moraes e Ávila, 2014; Rossetto e Santiago, 2022b).

Assim, as pragas da cana-de-açúcar são classificadas conforme o órgão atacado, raízes, colmos ou folhas, embora algumas espécies possam migrar entre diferentes partes da planta ao longo do ciclo de desenvolvimento (Dinardo-Miranda, 2011; Moraes e Ávila, 2014).

Dentre as principais pragas associadas à cultura da cana-de-açúcar no Brasil, destacam-se insetos de diferentes ordens e hábitos alimentares. As cigarrinhas-das-raízes, especialmente *Mahanarva fimbriolata* (Stål, 1854) (Hemiptera: Cercopidae), são pragas sazonais e predominam em períodos chuvosos, com as ninfas sugando seiva na base dos colmos, causando amarelecimento e redução da fotossíntese. Já a cochonilha-rosada, *Saccharicoccus sacchari* (Cockerell, 1895) (Hemiptera: Pseudococcidae),

alimenta-se perfurando as bainhas foliares e os nós do colmo, o que favorece o aparecimento de fumagina e compromete a qualidade do caldo (Dinardo-Miranda et al., 2012; Macedo et al., 2012; Rossetto e Santiago, 2022b; Cruz et al., 2025).

As brocas são pragas de grande importância na cana-de-açúcar. As larvas de *D. saccharalis* perfuram o colmo, formando galerias internas que comprometem o transporte de seiva e reduzem a qualidade tecnológica da cana. Devido ao seu hábito críptico, grande parte do ciclo ocorre protegida no interior do colmo, dificultando o controle (Pinto et al., 2009; Santos et al., 2015; Monteiro et al., 2022). Outras espécies relevantes são a broca-gigante, *Telchin licus licus* (Drury, 1773) (Lepidoptera: Castniidae), cujas larvas perfuram os colmos, provocando perdas de açúcar e aumento de aumento no teor de fibras; o besouro-da-raiz *Migdolus fryanus* (Westwood, 1893) (Coleoptera: Vesperidae), que danifica as raízes e compromete a absorção de água e nutrientes; além de cupins e formigas-cortadeiras, que atacam toletes e plantas jovens, reduzindo a brotação e o estande final da lavoura (Mendonça, 1996; Almeida, 2005; Dinardo-Miranda et al., 2010).

Entre as pragas de solo, destaca-se o bicudo-da-cana, *S. levis*, cujas larvas atacam rizomas e a base dos colmos, provocando necroses, murchamento e redução da brotação (Almeida, 2005; Dinardo-Miranda et al., 2012). Devido ao hábito subterrâneo e ao longo ciclo de vida, essa espécie apresenta difícil controle e tem se consolidado como uma das principais pragas de canaviais brasileiros.

2.1.3. *Sphenophorus levis*

A transição do sistema de colheita da cana-de-açúcar, de queimada para cana crua, favoreceu o aumento populacional de pragas de solo, entre as quais se destaca o bicudo-da-cana, *S. levis*. Considerada uma das principais pragas subterrâneas da cultura, apresenta elevado potencial de dano e ampla distribuição nas principais regiões canavieiras do Brasil (Precetti e Arrigoni, 1990; Dinardo-Miranda e Fracasso, 2013). A espécie foi relatada pela primeira vez em São Paulo, em 1977, e descrita como nova espécie no ano seguinte (Vaurie, 1978), já sendo encontrada nos estados de Minas Gerais, São Paulo,

Paraná, Santa Catarina e Mato Grosso do Sul (Dinardo-Miranda, 2014; Moraes e Ávila, 2014; Casteliani et al., 2020), e com registros de ocorrência em outros países da América do Sul.

Os adultos de *S. levis* medem entre 12 e 15 mm, apresentam coloração de castanho-escuro a marrom e rostro alongado, característico da família Curculionidae (Figura 1), estrutura que dá origem ao nome comum “bicudo-da-cana”. O inseto pode ser confundido com *Metamasius hemipterus* (L., 1758) (Coleoptera: Curculionidae), outra espécie comum em canaviais, sendo que *S. levis* diferencia-se por exibir três manchas negras longitudinais no pronoto e coloração mais escura (Vaurie, 1978; Alencar, 2016). O bicudo apresenta dimorfismo sexual, sendo os machos menores e com o pigídio mais largo e arredondado, enquanto as fêmeas possuem pigídio alongado e truncado. A presença de cerdas ventrais nas coxas do primeiro par de pernas também é característica dos machos (Alencar, 2016).

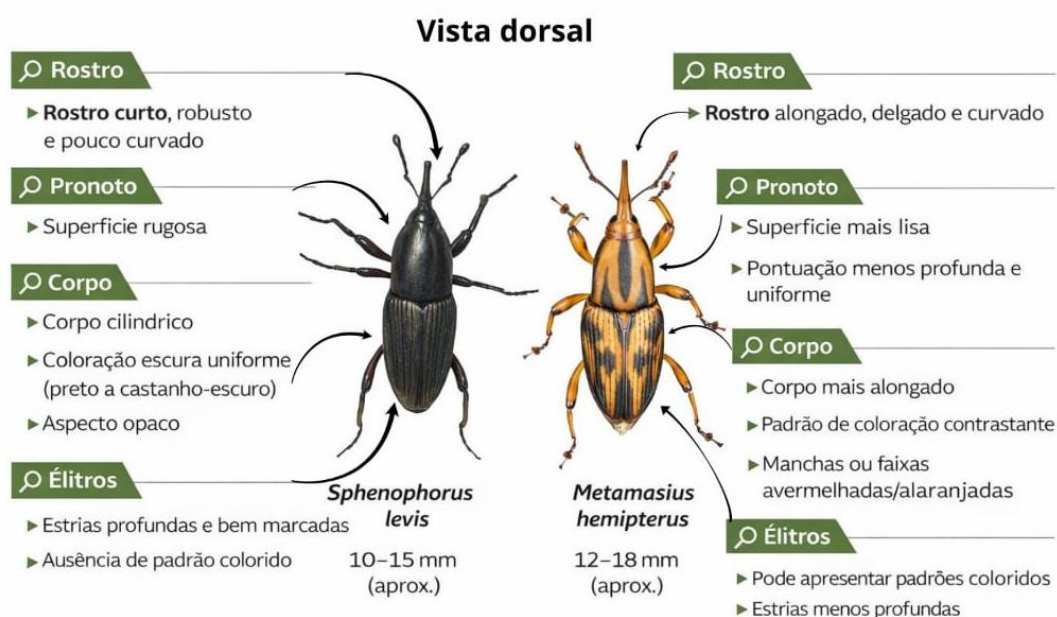


Figura 1 – Vista dorsal de Adulto de *Sphenophorus levis* e *Metamasius hemipterus* (Foto: J.M. de Souza).

O bicudo-da-cana possui hábito noturno, é fotonegativo e higrofílico, normalmente abrigando-se sob a palhada, no solo ou entre os perfilhos da base das touceiras. Quando perturbado, adota comportamento de tanatose, simulando morte (Dinardo-Miranda, 2018). Os adultos são gregários, e os machos liberam feromônio de agregação que atrai ambos os sexos (Wadt, 2016).

O clima influencia diretamente a dinâmica populacional da espécie, com os adultos predominando em meses quentes e úmidos, enquanto larvas são mais frequentes em períodos frios e secos (Degaspari et al., 1987; Alencar, 2016; Xavier, 2020).

O desenvolvimento de *S. levis* se dá por holometabolia, compreendendo as fases de ovo, larva, pupa e adulto, com duração total que pode variar de 58 a 307 dias, dependendo das condições ambientais (Precetti et al., 1983). As fêmeas ovipositam em média 40 ovos, inserindo-os individualmente nos tecidos basais do colmo, próximos ao solo (Degaspari et al., 1987). As larvas, fase de maior importância econômica, alimentam-se do rizoma e da base do colmo, formando galerias no rizoma que interrompem o fluxo de seiva e reduzem o perfilhamento. Essa atividade destrói a base da planta, levando à morte de perfilhos e queda significativa da produtividade, além de favorecer a penetração de microrganismos fitopatogênicos (Leite et al., 2006; Casteliani et al., 2020).

A capacidade de dispersão do bicudo-da-cana é considerada limitada e ocorre principalmente por caminhar, entre 6 e 11 metros por mês; contudo, registros recentes apontam que *S. levis* pode realizar voos curtos, ampliando seu potencial de disseminação (Matos et al., 2025). A praga também se dispersa por meio de mudas infestadas, sendo que a colheita sem queima tem favorecido sua sobrevivência e aumento populacional em sistemas produtivos (Casteliani et al., 2020; Rosa et al., 2024). Os danos podem atingir 30 t ha⁻¹, reduzindo o perfilhamento e a longevidade dos canaviais, o que torna *S. levis* uma das pragas mais importantes e difíceis de manejar na canavicultura (Casteliani et al., 2020; Rosa et al., 2024).

2.1.4. Danos e importância econômica de *Sphenophorus levis*

Os danos causados por *S. levis* à cultura da cana-de-açúcar são expressivos e estão diretamente relacionados ao ataque das larvas, fase em que o inseto se alimenta do rizoma e da base dos colmos, construindo galerias no rizoma que interrompem o transporte de seiva e provocam necroses teciduais (Figura 2) (Dinardo-Miranda e Fracasso, 2010). Essas lesões reduzem o perfilhamento, comprometem o crescimento vegetativo e podem levar à morte

de 50% a 60% dos perfilhos em áreas de altas infestações (Arrigoni et al., 2020; Dinardo-Miranda, 2021; Moraes et al., 2022).



Figura 2 - Larvas de *Sphenophorus levis* alimentando-se do rizoma e da base dos colmos da cana-de-açúcar, com as galerias internas que comprometem os tecidos da planta (Foto: J.M. de Souza).

Além da morte dos perfilhos, o ataque de *S. levis* reduz significativamente o número de brotações nas soqueiras, afetando a longevidade e a produtividade dos canaviais. Estudos demonstram que cada 1% de aumento nos danos aos rizomas resulta em uma redução média de 0,32% no peso das hastes e 0,68% no número de brotos após a colheita, podendo gerar perdas acumuladas de até 30 t ha⁻¹ na produção de colmos (Casteliani et al., 2020). Tais impactos são agravados em cultivos de cana-soca e cana de terceiro corte, onde a estrutura radicular se encontra mais vulnerável (Dinardo-Miranda, 2018).

Os danos provocados pela praga também interferem na qualidade tecnológica da matéria-prima, reduzindo o teor de sacarose (Pol%), a pureza do caldo e elevando a quantidade de fibras, o que compromete a eficiência industrial e o rendimento na produção de açúcar e etanol (Giometti, 2009; Dinardo-Miranda e Fracasso, 2013). Além disso, as galerias abertas pelas larvas funcionam como porta de entrada para microrganismos fitopatogênicos, favorecendo o desenvolvimento de fungos e bactérias saprófitas, que aceleram a deterioração dos colmos (Alencar, 2016; Xavier, 2020).

A mudança no sistema de colheita, com a proibição da queima pré-colheita (Lei Estadual nº 11.241/2002), contribuiu para o aumento das populações de *S. levis*. A presença da palhada sobre o solo cria um

microambiente favorável à sobrevivência dos adultos e larvas, com maior umidade e sombreamento, reduzindo a mortalidade natural causada pela exposição solar (Dinardo-Miranda e Fracasso, 2013; Moraes e Ávila, 2014). Dessa forma, a expansão do sistema de cana crua está diretamente associada à maior incidência e dispersão da praga nos canaviais paulistas e sul-mato-grossenses (Rosa et al., 2024).

Diante da dificuldade de controle, do hábito subterrâneo e da baixa capacidade de dispersão, o bicudo-da-cana é considerado um dos principais desafios do manejo integrado de pragas em canaviais. Sua presença pode comprometer tanto a viabilidade econômica do cultivo quanto a sustentabilidade produtiva a longo prazo. Por isso, estratégias de monitoramento, manejo cultural e controle biológico vêm sendo estudadas, visando reduzir a dependência de métodos químicos e minimizar as perdas de produtividade (Dinardo-Miranda, 2018; Castelvani et al., 2020; Rosa et al., 2024).

2.1.5. Estratégias de manejo de *Sphenophorus levis*

2.1.5.1. Controle cultural

O manejo cultural baseia-se na destruição mecânica de soqueiras nas áreas infestadas por *S. levis*, principalmente durante a reforma do canavial, com o objetivo de expor e eliminar larvas e pupas presentes nos rizomas e no solo (Precetti e Arrigoni, 1990; Dinardo-Miranda, 2014). A operação deve ser realizada preferencialmente entre maio e setembro, quando ocorre maior concentração das fases imaturas da praga (Dinardo-Miranda, 2014).

Após a destruição da soqueira, recomenda-se manter a área livre de plantas hospedeiras por pelo menos três meses, permitindo a decomposição dos restos culturais e dificultando a sobrevivência de adultos remanescentes (Precetti e Arrigoni, 1990). O solo exposto, embora possa elevar o risco de erosão, tem mostrado redução das populações de *S. levis* (Recieri et al., 2018). Estudos mostraram que, em sistemas “Meiosi” com rotação soja–cana, a infestação do bicudo foi até 154% maior em áreas com soja do que em áreas sem cobertura vegetal, mostrando que a ausência de hospedeiros alternativos limita o desenvolvimento do inseto (Recieri et al., 2018).

Outro fator importante é o uso de mudas sadias e livres de infestação. Mudas provenientes de áreas com corte basal alto (até 20 cm acima do solo) ou viveiros inspecionados reduzem a disseminação da praga para novas áreas (Precetti, 1991; Landell et al., 2012). A utilização de mudas pré-brotadas (MPB) pode oferecer melhor controle fitossanitário e menor risco de transporte de formas biológicas do inseto, além de contribuir para a uniformidade de plantio (Landell et al., 2012; Dinardo-Miranda, 2014).

A rotação de culturas é recomendada, desde que se evite o plantio de gramíneas hospedeiras, como milho e outras Poaceae. Além disso, a seleção de variedades de cana menos atrativas mostra-se promissora, pois há diferenças na preferência e nos danos entre genótipos, indicando potencial para o uso de variedades mais tolerantes (Precetti, 1991; Dinardo-Miranda, 2014).

O manejo cultural deve ser aliado ao monitoramento contínuo e ao planejamento regional, permitindo a detecção inicial de infestações e prevenindo a disseminação da praga por mudas e/ou máquinas. Associado a práticas sustentáveis, como o manejo da palhada e o equilíbrio biológico do solo, o conjunto de estratégias culturais constitui a base do Manejo Integrado de Pragas (MIP) para *S. levis*, diminuindo, assim, o uso de inseticidas e prolongando a vida útil dos canaviais (Dinardo-Miranda, 2000; Dinardo-Miranda e Fracasso, 2013; Casteliani et al., 2020; Rosa et al., 2024).

2.1.5.2. Controle químico

O controle químico de *S. levis* tem sido adotado como medida complementar no manejo da praga, principalmente em áreas com altos níveis de infestação. Devido ao hábito subterrâneo e comportamento críptico do inseto, os produtos químicos apresentam eficiência limitada, já que o contato com as fases biológicas é reduzido (Dinardo-Miranda, 2000; Polanczyk et al., 2004; Evangelista et al., 2017). Ainda assim, o uso de inseticidas de ação residual no sulco de plantio e na soqueira após a colheita tem sido prática comum entre produtores (Dinardo-Miranda e Fracasso, 2010). Atualmente, há cerca de 20 inseticidas registrados para o controle de *S. levis* no Brasil, com destaque para os ingredientes ativos lambda-cialotrina + tiametoxam, imidacloprido,

alfacipermetrina + fipronil, bifentrina + carbosulfano e clorantraniliprole (Agrofit, 2025).

Um dos métodos mais antigos, ainda utilizado, consiste na distribuição de iscas tóxicas para atrair e eliminar os adultos do bicudo. Essas iscas são confeccionadas com pedaços de colmos de cana cortados longitudinalmente e tratados com, por exemplo, carbaril 80–85% PM (25 g em 2 L de água), e dispostos na base das touceiras, sendo cobertos com palha ou folhas secas (Precetti e Arrigoni, 1990). A adição de 1 L de melaço à mistura aumenta a atratividade, sendo recomendado colocar de 150 a 200 iscas por hectare. Em trabalhos mais recentes, o uso de iscas atrativas com melaço, vinhaça ou caldo de cana tem mostrado bons resultados no aumento da captura e mortalidade de adultos (Gallo et al., 2002; Pérez, 2008; Martins et al., 2020).

Estudos indicam que a combinação de atrativos alimentares e inseticidas sistêmicos potencializa o método "atrai e mata", ampliando a eficiência de controle em campo. Pérez (2008) observou maior atratividade de *S. levis* quando as iscas foram preparadas com melaço e tratadas com carbaril ou tiametoxam, enquanto Martins et al. (2020) relataram resultados semelhantes ao utilizar colmos imersos em vinhaça tratada com inseticida.

Apesar da ampla disponibilidade de produtos químicos, diversos estudos relatam baixa eficiência no controle da praga. Dinardo-Miranda et al. (2006) verificaram eficácia máxima de apenas 60% em tratamentos de soqueira, enquanto Dinardo-Miranda e Fracasso (2010) observaram eficiência de até 64% em aplicações no sulco de plantio. Essa baixa performance é atribuída à distribuição irregular dos inseticidas, à degradação rápida no solo e à localização das larvas e pupas, que dificultam o alcance do produto (Leite et al., 2012; Alencar, 2016).

Portanto, o manejo químico deve ser considerado apenas como parte complementar do MIP. Sua eficiência pode aumentar quando associado a práticas como o uso de mudas sadias, destruição da soqueira, controle biológico e manejo cultural adequado (Dinardo-Miranda, 2014; Casteliani et al., 2020). Além disso, recomenda-se a rotação dos modos de ação dos inseticidas, de acordo com a classificação do IRAC (Insecticide Resistance Action Committee), para evitar a seleção de populações resistentes e prolongar a eficácia dos produtos.

2.1.5.3. Controle biológico

O manejo biológico de *S. levis* vem sendo estudado como alternativa sustentável aos métodos químicos, devido à crescente preocupação ambiental e à baixa eficiência dos inseticidas no controle dessa praga de solo. Diversos agentes entomopatogênicos, incluindo fungos, nematoides e bactérias, têm demonstrado potencial para o controle do bicudo-da-cana (Canassa, 2014; Santos et al., 2017; Smaniotto, 2019).

O fungo *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. (Hypocreales: Cordycipitaceae) é o mais amplamente testado para o controle de *S. levis*, apresentando resultados promissores em estudos de campo e laboratório. Esse fungo, de natureza necrotrófica facultativa, infecta uma grande variedade de artrópodes, iniciando o processo de infecção pela adesão e penetração dos conídios na cutícula do inseto, seguida pela produção de enzimas e metabólitos tóxicos que destroem os tecidos internos e leva o hospedeiro à morte (Rehner et al., 2011; Ortiz-Urquiza e Keyhani, 2013; Gibson et al., 2014).

Estudos demonstram que aplicações de *B. bassiana* em cortes de soqueira ou resíduos de colheita reduzem significativamente a população do inseto em campo, com mortalidades superiores a 90% (Badilla e Alves, 1991; Delfanti, 2012; EMBRAPA, 2023). De modo semelhante, o fungo *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorok. (Hypocreales: Clavicipitaceae), isolado ou em associação com inseticidas, também tem mostrado eficiência no controle das fases larval e adulta da praga, sendo ambos os entomopatógenos mais empregados em programas de manejo biológico da cana-de-açúcar (Gallo et al., 2002; Schrank e Vainstein, 2010; Rezende et al., 2019; Lopes et al., 2021; Rocha et al., 2023).

Além dos fungos, nematoides entomopatogênicos (NEPs) têm se apresentado como uma ferramenta biotecnológica de interesse no manejo de *Sphenophorus levis*. Pesquisas envolvendo espécies como *Steinernema puertoricense* Nguyen & Smart, 1994 (Rhabditida: Steinernematidae), *Steinernema brazilense* Nguyen, Ginarte, Leite & Santos, 2010 (Rhabditida: Steinernematidae) e *Heterorhabditis indica* Poinar, Karunakar & David, 1992 (Rhabditida: Heterorhabditidae) indicam eficiência variável, influenciada pelas condições de umidade, profundidade larval e temperatura do solo (Tavares,

2006; Leite et al., 2011). Em condições controladas de laboratório, com temperatura e umidade relativa constantes, *S. puertoricense* promoveu alta mortalidade de larvas, enquanto *H. indica* mostrou melhor desempenho quando associado a condições de maior umidade do substrato (Leite et al., 2011).

Entre as bactérias entomopatogênicas, destaca-se *Bacillus thuringiensis* (Berliner, 1915) (Bacillales: Bacillaceae) (Bt), cujos isolados apresentam atividade tóxica para larvas de *S. levis* (Polanczyk et al., 2004; Campanini et al., 2012). Embora o uso comercial de Bt ainda seja mais direcionado para insetos de solo, sua aplicação representa uma alternativa viável dentro do MIP, podendo ser associada a outros métodos biológicos. Estudos biotecnológicos, como o de Lopes (2002), buscaram introduzir genes inibidores de proteases (como a Chagasina) em plantas de cana-de-açúcar, com o objetivo de expressar resistência ao ataque do inseto.

A adoção de métodos biológicos torna-se ainda mais relevante frente às mudanças no sistema de colheita da cana-de-açúcar. A proibição da queima pré-colheita e o acúmulo de palha sobre o solo têm proporcionado melhores condições microclimáticas para o desenvolvimento e a sobrevivência de organismos benéficos, como fungos, parasitoides e predadores (Castro et al., 2019; Marques et al., 2019; Singh et al., 2021), contribuindo para a mortalidade natural de pragas de solo e favorecendo o equilíbrio ecológico, além de reduzir a utilização do controle químico.

2.1.5.4. Controle biológico conservativo

O controle biológico conservativo ocorre de forma natural nos ecossistemas agrícolas, resultando no equilíbrio entre pragas e seus inimigos naturais, como predadores, parasitoides e patógenos. Em cana-de-açúcar sem queima, a manutenção da palha sobre o solo tem aumentado as populações de organismos benéficos, como tesourinhas, aranhas e carabídeos, contribuindo para o controle natural de pragas (Parra et al., 2002; Castro et al., 2019; Singh et al., 2021).

A adoção de práticas agrícolas que preservem e estimulem inimigos naturais tem se mostrado essencial para aumentar a eficiência do controle biológico em canaviais. O manejo da palhada, o uso racional de inseticidas, a

rotação de culturas e o cultivo mínimo são medidas que criam condições favoráveis à manutenção de predadores generalistas, como os dermápteros, crisopídeos e coccinelídeos (Barratt et al., 2018; van Lenteren et al., 2020).

2.2. Predadores

Os predadores são fundamentais no controle biológico natural, atuando como reguladores das populações de insetos-praga ao se alimentarem dos diferentes estágios de desenvolvimento (ovos, larvas, ninfas e adultos) desses organismos, sendo eles capazes de capturar múltiplas presas ao longo de seu ciclo de vida, contribuindo para manter as populações de pragas abaixo do nível de dano econômico (Parra et al., 2002; Venzon et al., 2010; Busoli et al., 2015; Barratt et al., 2018).

Estudos recentes reforçam a importância ecológica dos predadores generalistas em canaviais. Pesquisas desenvolvidas na Indonésia e no Brasil demonstraram que a diversidade e abundância desses inimigos naturais aumentam significativamente em sistemas de manejo conservacionista, onde há menor revolvimento do solo e presença contínua de cobertura vegetal (Prabowo et al., 2021; Rahardjo et al., 2023).

A eficiência dos predadores está diretamente relacionada às condições ambientais, à disponibilidade de presas e às práticas agrícolas adotadas. Por isso, o monitoramento e o conhecimento da bioecologia das espécies são fundamentais para o aproveitamento máximo desses inimigos naturais no MIP (van Driessche e Bellows Jr., 1996; van Lenteren et al., 2003; Boldorini et al. 2024).

Na cana-de-açúcar, diversos grupos de predadores têm sido relatados exercendo papel importante na regulação natural das principais pragas da cultura. Entre eles, destacam-se os Coccinellidae (joaninhas) (Coleoptera), Chrysopidae (crisopídeos) (Neuroptera), Reduviidae (percevejos predadores) (Hemiptera) e Dermaptera (tesourinhas), além das famílias Staphylinidae e Carabidae (Coleoptera), com representantes que atuam no solo e entre restos culturais (Borges Filho et al., 2019; Nunes et al., 2019). Esses organismos são geralmente encontrados em maior abundância em sistemas de colheita sem

queima, nos quais a palhada mantida sobre o solo cria um microclima favorável à sua sobrevivência e reprodução (Castro et al., 2019; Singh et al., 2021).

2.2.1. Dermápteros como agentes de controle biológico

Os insetos da ordem Dermaptera, popularmente conhecidos como tesourinhas, são organismos terrestres de hábitos noturnos e amplamente distribuídos em diferentes ecossistemas do planeta. A ordem compreende cerca de 2.000 espécies descritas, distribuídas em aproximadamente 11 famílias (Haas, 2019). Morfologicamente destacam-se pelo corpo alongado e achatado, pela presença de asas anteriores curtas (tégminas) e asas posteriores membranosas, além dos cercos abdominais fortemente esclerotizados e estruturados em forma de pinça, que desempenham funções de defesa, predação, cópula e dimorfismo sexual (Gallo et al., 2002; Kočárek et al., 2013).

Algumas espécies são ápteras, pertencentes à família Anisolabididae, que reúne cerca de 32 espécies distribuídas em 10 gêneros (Matzke e Kočárek, 2015). Os dermápteros são onívoros, alimentando-se de matéria vegetal e animal, e possuem um ciclo de vida hemimetabólico, passando pelos estágios de ovo, ninfa e adulto, com duração média entre 100 e 300 dias (Debras et al., 2007; Meunier J, 2024).

Uma característica marcante é o comportamento subsocial das fêmeas, que demonstram cuidado maternal, preparando o ninho, limpando e protegendo os ovos e ninfas de predadores e patógenos até o primeiro instar ninfal (Figura 3) (Wong e Kölliker, 2012; Boos et al., 2014). Esse comportamento aumenta a sobrevivência da prole e é um dos fatores responsáveis pela ampla distribuição das espécies e sucesso adaptativo do grupo (Jacobs e Stigall, 2019).



Figura 3 - Cuidado maternal de *Euborellia annulipes* em condições de laboratório. (Foto: J. M. de Souza).

Historicamente, as tesourinhas foram mal interpretadas como pragas domésticas devido ao seu hábito noturno e aparência peculiar. Contudo, estudos desde o final do século XIX já apontavam seu potencial como predadoras naturais de artrópodes-praga (Futton, 1924; Costa et al., 2007). Atualmente, são reconhecidas como importantes agentes de controle biológico, atuando na regulação populacional de insetos das ordens Lepidoptera, Hemiptera, Coleoptera e Diptera, especialmente sobre ovos e outros estágios imaturos (Silva et al., 2010; Arroyo et al., 2023).

Entre as espécies mais estudadas destaca-se *E. annulipes*, amplamente distribuída em ambientes agrícolas. Apesar de registros ocasionais de herbivoria, *E. annulipes* tem demonstrado potencial como predador generalista, desempenhando papel relevante na supressão de populações de pragas em culturas como cana-de-açúcar, algodão, milho e hortaliças (Gabarra et al., 2015; Bourne et al., 2019). Sua capacidade de adaptação, reprodução e sobrevivência em diferentes ambientes agrícolas reforça sua importância como componente natural em programas de MIP.

2.2.2. *Euborellia annulipes*

A tesourinha *E. annulipes* é uma espécie amplamente distribuída em regiões tropicais e subtropicais do mundo, ocorrendo em ambientes agrícolas,

domiciliares e naturais. Inicialmente relatada como praga de produtos armazenados e ocasionalmente de cultivos agrícolas (Gould, 1948; Melamed-Madjar, 1971), passou a ser reconhecida como um importante inimigo natural de artrópodes-praga de relevância médica, veterinária e agrícola (Silva et al., 2009; Nunes et al., 2018; Byttebier e Fischer, 2019).

Euborellia annulipes é comum em canaviais, principalmente em áreas de colheita mecanizada sem queima, onde a palhada mantém condições úmidas favoráveis à sua sobrevivência (Showler e Reagan, 1991; Beuzelin et al., 2010; Franco et al., 2016). Nessas áreas, o inseto atua como predador de ovos e lagartas de primeiro ínstar de *D. saccharalis*, sendo um importante agente de controle biológico natural (Santos et al., 2017; Roy et al., 2018). Além disso, sua presença tem sido relatada em outras culturas, incluindo milho, algodão, soja e hortaliças, predando ovos, larvas e pupas de diferentes espécies (Silva et al., 2015; Pasini et al., 2018; Oliveira et al., 2019; Barbosa et al., 2020; Costa et al., 2021; Vacari et al., 2022; Silva e Bueno, 2023).

Os adultos de *E. annulipes* apresentam coloração preta a castanho-escura, corpo medindo entre 1 e 2,5 cm, antenas castanhas com artículos distais esbranquiçados e pernas amareladas com faixas escuras nos fêmures. São ápteros, com fórceps curtos e bem desenvolvidos, usados tanto na predação quanto na defesa (Figura 4). As ninfas são semelhantes aos adultos, diferenciando-se pelo tamanho e número de antenômeros. O dimorfismo sexual é evidente, com os machos possuindo cercos mais curvados e dez segmentos abdominais, enquanto as fêmeas apresentam oito segmentos e cercos mais curtos (Guimarães et al., 1992).



Figura 4 - Fêmea adulta de *Euborellia annulipes*. (Foto: J. M. de Souza).

Essa espécie é crepuscular e higrofílica, abrigando-se em locais úmidos debaixo de detritos, pedras, palhada e na base das plantas. As fêmeas depositam os ovos em grupos, em câmaras protegidas no solo ou sob matéria orgânica, e demonstram cuidado maternal, protegendo e higienizando a postura até a eclosão (Neiswander, 1944; Bharadwaj, 1966). Cada fêmea pode realizar duas a sete posturas, com média de 30 a 50 ovos por ciclo, e período de incubação variando entre 9 e 19 dias, conforme a temperatura (Bharadwaj, 1966). As ninfas passam por 5 ínstar, com duração total de 40 a 80 dias e a fase adulta pode durar de 100 a 200 dias, dependendo das condições ambientais (Figura 5) (Silva et al., 2009).

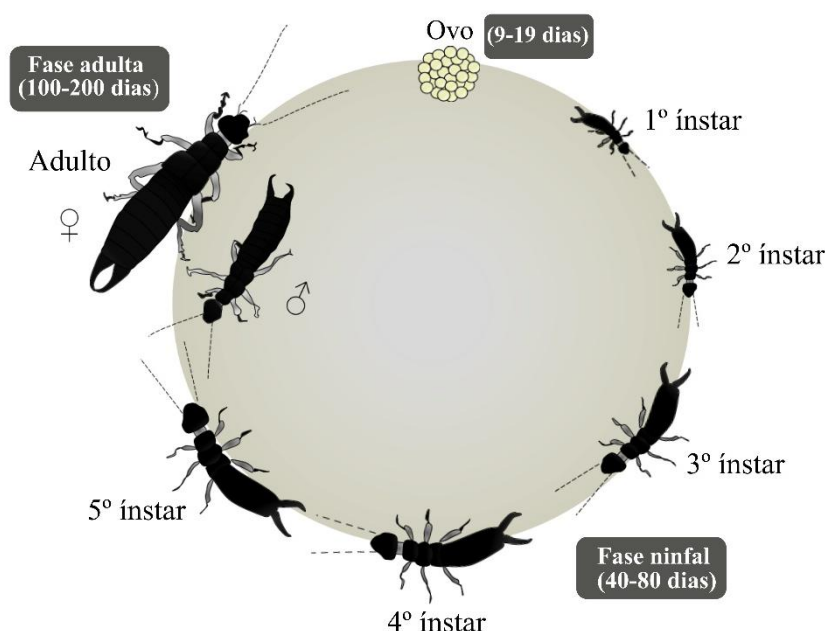


Figura 5 - Esquema do ciclo de vida de *Euborellia annulipes*. (Foto: adaptada de Nunes, 2021).

Por ser um predador generalista e resistente, *E. annulipes* pode permanecer no ambiente mesmo em períodos de baixa disponibilidade de presas, alimentando-se de detritos e pequenos artrópodes, o que garante sua estabilidade populacional (Symondson et al., 2002). Esse comportamento o torna um importante predador para controle biológico conservativo em canaviais e um potencial aliado em programas de MIP, especialmente quando combinado

a outras táticas como o controle biológico aplicado e o manejo cultural (Dinardo-Miranda, 2008; Liu et al., 2014; Gould et al., 2018).

2.3. Nematoides entomopatogênicos (NEPs)

Os nematoides entomopatogênicos (NEPs) são organismos microscópicos pertencentes ao filo Nematoda e à ordem Rhabditida, reconhecidos por sua capacidade de parasitar e matar insetos. As principais espécies utilizadas no controle biológico pertencem às famílias *Steinernematidae* e *Heterorhabditidae*, amplamente distribuídas em todos os continentes, exceto na Antártica (Burnell e Stock, 2000). Esses nematoides estabelecem uma associação simbiótica obrigatória com bactérias entomopatogênicas dos gêneros *Xenorhabdus* (associadas a *Steinernema* spp.) e *Photorhabdus* (associadas a *Heterorhabditis* spp.) responsáveis pela mortalidade dos hospedeiros, geralmente entre 24 e 72 horas após a infecção (Kaya e Gaugler, 1993; Alves e Lopes, 2008).

O ciclo de vida dos NEPs compreende quatro estágios juvenis e um adulto, em que o terceiro estágio juvenil (J3), o juvenil infectivo (JI), atua como o principal agente de infecção. Esse estágio é adaptado para sobreviver fora do hospedeiro, permanecendo dormente até detectar sinais químicos e voláteis de insetos no solo (Lewis et al., 1992; Griffin et al., 2005). Os JIs penetram no hospedeiro pelas aberturas naturais (boca, ânus, espiráculos) ou, no caso de *Heterorhabditis*, também pela cutícula, graças à presença de um dente cuticular (Forst e Clarke, 2002). Após a penetração, as bactérias simbiontes são liberadas na hemolinfa, multiplicam-se rapidamente e provocam septicemia, levando o inseto à morte (Figura 6).

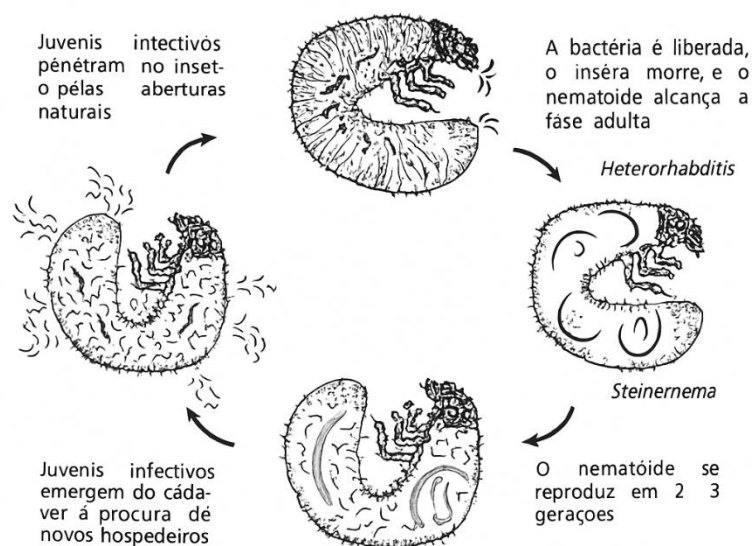


Figura 6 - Ciclo de vida de nematoides entomopatogênicos dos gêneros *Steinernema* e *Heterorhabditis* colonizando forma imatura de Scarabaeidae. Fonte: (Leite et al., 2004).

No Brasil, diversas espécies de NEPs têm sido relatadas, incluindo *Steinernema brazilense* Nguyen, Ginarte, Leite & Santos, 2010, *Steinernema rarum* Doucet, 1986, *Heterorhabditis amazonensis* Andaló, Nguyen & Moino Júnior, 2006 e *Heterorhabditis indica* Poinar, Karunakar & David, 1992, isoladas de diferentes regiões agrícolas e biomas (Andaló et al., 2006; Nguyen et al., 2010; Rosa et al., 2013). A ampla distribuição desses organismos está associada à sua capacidade adaptativa, permitindo-lhes resistir à dessecação, variações de temperatura e estresse osmótico. Essa adaptabilidade, aliada à facilidade de criação massal e formulação, faz dos NEPs agentes ideais para programas de MIP em culturas agrícolas tropicais (Leite et al., 2006; Dolinski et al., 2017).

2.3.1. Nematoides entomopatogênicos no controle biológico de pragas

O uso de NEPs como agentes de controle biológico tem ganhado destaque em sistemas agrícolas, principalmente naqueles que usam práticas sustentáveis. Esses nematoides têm demonstrado bons resultados contra pragas de solo ou de hábito críptico, devido à sua capacidade de se deslocar no perfil do solo e localizar hospedeiros por meio de estímulos químicos e térmicos (Grewal et al., 2001). Por serem inócuos a plantas, vertebrados e organismos

não alvos, os NEPs se alinham aos princípios da agroecologia e do MIP, aplicáveis por meio de sistemas convencionais de pulverização, irrigação ou injeção no solo (Alves e Lopes, 2008; Dolinski et al., 2017).

Entre as espécies mais utilizadas, *Steinernema carpocapsae* (Weiser, 1955) e *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar, 1976 destacam-se pela amplitude de hospedeiros e eficiência comprovada em campo. Nos Estados Unidos, aplicações de *S. carpocapsae* resultaram em até 87% de mortalidade de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) (Lindgren et al., 1990), enquanto *H. bacteriophora* promoveu 70% de controle do gorgulho *Diaprepes abbreviatus* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera: Curculionidae) em citros (Schroeder, 1990). No Brasil, resultados promissores foram obtidos com *S. carpocapsae* no controle do moleque-da-bananeira, *Cosmopolites sordidus* Germar, 1824 (Coleoptera: Curculionidae), atingindo até 98% de mortalidade (Schmitt et al., 1992), e com *H. indica* contra a cigarrinha-da-raiz-da-cana (*M. fimbriolata*), alcançando 70% de mortalidade em campo (Leite et al., 2006).

Na cultura da cana-de-açúcar, os NEPs apresentam grande potencial no controle do bicudo-da-cana (*S. levis*), com estudos demonstrando que isolados de *H. indica* e *Steinernema* sp. alcançaram mortalidades superiores a 90% de larvas em bioensaios laboratoriais e de casa de vegetação (Tavares et al., 2007; Leite et al., 2012). Além disso, o uso combinado de NEPs com fungos entomopatogênicos, como *B. bassiana*, tem mostrado efeitos aditivos e sinérgicos, aumentando a mortalidade das pragas e prolongando a persistência dos agentes no solo (Simi, 2014).

Os avanços em tecnologia de produção e formulação comercial, como o produto Terranem® (Koppert, 2026) à base de *S. carpocapsae*, têm ampliado a adoção dos NEPs na agricultura tropical. Esses bioinsumos oferecem controle eficaz, seguro e compatível com práticas de manejo conservativo, fortalecendo o uso de soluções biológicas em larga escala. Contudo, para otimizar sua aplicação e garantir a estabilidade ecológica dos sistemas agrícolas, é fundamental avaliar a seletividade e compatibilidade dos NEPs com outros inimigos naturais, como predadores e parasitoides.

2.4. Compatibilidade entre agentes de controle

A integração entre agentes de controle, como predadores, parasitoides, fungos e nematoides entomopatogênicos, em programas de manejo de pragas impõe o desafio da compatibilidade entre esses organismos. Estudos demonstram que a aplicação de um agente biológico pode interferir no desempenho de outro, seja por competição direta, predação entre inimigos ou efeito residual de inseticidas que afetam organismos não alvo (Garriga et al., 2019; Koller et al., 2023).

Interações sinérgicas ou antagônicas entre agentes de controle e práticas agrícolas constituem outro aspecto fundamental a ser considerado. Um estudo identificou que nematoides entomopatogênicos podem ter sua eficácia reduzida quando aplicados simultaneamente com determinados inseticidas ou fertilizantes, o que evidencia a necessidade de coordenar o momento, o modo de aplicação e o agente escolhido (Hamadah e Ghoneim, 2024). Da mesma forma, a introdução precoce de inimigos naturais em cultivos protegidos exigiu avaliação da compatibilidade com produtos fitossanitários indicando formas viáveis de uso conjunto (Dáder et al., 2020).

Em culturas como a cana-de-açúcar, onde pragas do solo e da parte aérea ocorrem simultaneamente, a avaliação de compatibilidade entre agentes de controle torna-se ainda mais importante (Dinardo-Miranda, 2008; Castro et al., 2019). A combinação de diferentes agentes, como nematoides aplicados ao solo e predadores terrestres, deve considerar não apenas a compatibilidade direta entre eles, mas também fatores do ambiente da cultura, como palhada, umidade e microclima, além de práticas de manejo como colheita, rotação e manutenção da palhada, e, ainda, a presença de resíduos químicos (Garriga et al., 2019; Singh et al., 2021). Assim, protocolos de uso conjunto devem basear-se em testes de seletividade, visando minimizar impactos sobre inimigos naturais, e em análises de sinergia, avaliando quando a combinação resulta em maior eficácia do que o uso isolado de cada agente (Barratt et al., 2018; Koller et al., 2023).

Portanto, a seleção de combinações entre agentes de controle que apresentem eficácia e mínimo antagonismo entre si ou com outras práticas permitirá reduzir a dependência de inseticidas, prolongar a eficácia dos agentes biológicos e garantir a sustentabilidade da lavoura de cana (Hassan, 1998; Gurr et al., 2012; Banks e Laubmeier, 2023; Savi et al., 2024). Dessa forma, torna-se importante a realização de estudos sobre seletividade, avaliando os efeitos de

cada agente sobre inimigos naturais, de modo a assegurar que estratégias de controle integradas mantenham e preservem essas populações no agroecossistema (Desneux et al., 2007; Biondi et al., 2012; Parkins, 2024).

2.5. Seletividade de inseticidas a inimigos naturais

A seletividade de inseticidas a inimigos naturais é componente central dos programas de MIP, pois visa controlar a praga-alvo com o menor impacto possível sobre os organismos benéficos (Crocomo, 1990; Bellizzi et al., 2005). A seletividade pode ser ecológica, quando diferenças de exposição no tempo e no espaço reduzem o contato de inimigos naturais com o inseticida, e fisiológica, quando esses organismos diferem na absorção, metabolização ou sensibilidade ao produto (Degrande et al., 2002; Salgado et al., 2002).

Do ponto de vista ecotoxicológico, inseticidas podem causar tanto efeitos letais (mortalidade direta) quanto subletais sobre inimigos naturais, afetando fecundidade, fertilidade, desenvolvimento, longevidade, capacidade de predação/parasitismo e comportamento (Desneux et al., 2007; Fernandes et al., 2010). Estudos mostraram que mesmo produtos considerados “seletivos” podem reduzir taxa de predação, alterar razão sexual, prejudicar o comportamento e oviposição ou prolongar o ciclo de vida de predadores e parasitoides. Portanto, a avaliação de seletividade deve considerar diferentes vias de exposição e diferentes estágios de desenvolvimento, analisando múltiplos parâmetros biológicos e comportamentais e não apenas a mortalidade de adultos em laboratório (Bueno et al., 2017; Carvalho et al., 2019).

Bueno et al. (2017) destacam que os programas de MIP dependem de agrotóxicos que combinem alta eficácia sobre a praga com mínimo impacto sobre inimigos naturais, porém, os dados disponíveis são muitas vezes escassos. Estudos recentes sobre o impacto em não alvos reforçam que nenhum inseticida seletivo é “seguro” para todos os inimigos naturais, sendo indispensável o ajuste por cultura, sistema de produção e comunidade de inimigos naturais (Schmidt-Jeffris et al., 2023).

Em algodoeiro, inseticidas como pimetozina, clorantprilprole, piriproxifen e ciantranilprole apresentaram maior sobrevivência de predadores em comparação com outros produtos não seletivos, contribuindo para a

manutenção da ação de inimigos naturais em campo (Machado et al., 2019). Já em frutíferas e hortaliças, foi avaliada a compatibilidade de inseticidas e ácaros predadores, sendo demonstrado que ajustes de dose, formulação e momento de aplicação podem reduzir impactos negativos e preservar agentes de controle biológico de importância (Duso, 2020).

Revisões sobre impacto e seletividade de inseticidas a predadores e parasitoides reforçam ainda que, antes da pulverização, é indispensável a correta identificação dos grupos de inimigos naturais presentes e a escolha de moléculas com menor toxicidade e menor persistência para esses organismos, evitando ressurgência de pragas e surtos de pragas secundárias (Fernandes et al., 2010; Bueno et al., 2017).

Na cultura da cana-de-açúcar, a seletividade de inseticidas é importante, existindo dados históricos do uso intensivo de produtos químicos para controle de pragas como *D. saccharalis*, *S. levis*, além de outras espécies fitófagas (Oliveira et al., 2013). O MIP da cana requer a integração de controles cultural, biológico e químico, priorizando produtos seletivos que preservem inimigos naturais e mantenham o equilíbrio ecológico do agroecossistema (Li WenFeng et al., 2019). Dentre esses inimigos naturais, destacam-se predadores generalistas como as tesourinhas, frequentemente encontrada em canaviais e capaz de predação de ovos e lagartas de *D. saccharalis* (Nunes et al., 2019; de Souza et al., 2022). Estudos mostram que *E. annulipes* pode manter a sobrevivência diante de alguns inseticidas, indicando que é compatível com programas de controle biológico conservativo (Arroyo et al., 2023; Morato et al., 2023).

2.6. Papel da vinhaça na ecologia do solo e nos inimigos naturais

A vinhaça é um líquido gerado durante a destilação do caldo fermentado da cana-de-açúcar, caracterizando-se por elevada carga orgânica, acidez e presença significativa de nutrientes e metais, fatores que influenciam diretamente a dinâmica ecológica dos ambientes onde é aplicada (Christofolletti et al., 2013). A fertirrigação com vinhaça é amplamente utilizada na cultura da cana-de-açúcar, promovendo a adição de potássio, cálcio e nitrogênio ao solo, o que pode estimular o crescimento microbiano e alterar processos de ciclagem de nutrientes (Fuess et al., 2017). Entretanto, a composição química da vinhaça,

aliada à sua elevada carga orgânica, pode modificar os parâmetros físico-químicos do solo e influenciar comunidades edáficas sensíveis às alterações ambientais (Parnaudeau et al., 2008; Christofolletti et al., 2013).

As mudanças na estrutura do solo causadas pela vinhaça também podem impactar comunidades de organismos do sedimento e da interface solo-água, incluindo macroinvertebrados bentônicos, frequentemente utilizados como bioindicadores ambientais (Silva et al., 2007; De Castro-Català et al., 2016). Espécies como *Alona inaequalis* (Koch, 1841) (Cladocera: Chydoridae) e *Chironomus sancticaroli* Strixino & Strixino, 1981 (Diptera: Chironomidae), que participam da fragmentação de matéria orgânica e da transferência de energia na cadeia alimentar, podem sofrer alterações de crescimento, biomassa e reprodução quando expostas à vinhaça, evidenciando distúrbios ecológicos que afetam a sustentabilidade do sistema solo-água (Chagnon et al., 2015).

Estudos mostram que até mesmo baixas concentrações de vinhaça (<1%) são capazes de provocar efeitos letais e subletais em organismos do solo e sedimento, como redução do crescimento larval e no desenvolvimento, assim como queda nas taxas reprodutivas. Em *A. inaequalis*, concentrações de 0,4% reduziram a reprodução em 68%, afetando diretamente a renovação populacional e a estabilidade da comunidade edáfica (Fraga et al., 2024).

O acúmulo de metais provenientes da vinhaça, como Cd, Pb e Cr, representa outro fator importante, pois esses elementos podem ser bioacumulados por organismos do solo e transferidos ao longo da cadeia alimentar, impactando predadores e inimigos naturais que desempenham papéis essenciais no equilíbrio dos agroecossistemas (Christofolletti et al., 2013; Coelho et al., 2018). A bioacumulação desses metais em macroinvertebrados expostos à vinhaça demonstra potencial de biomagnificação, ampliando os riscos ecológicos em ambientes terrestres e aquáticos conectados (Croteau et al., 2005; Rubio-Franchini e Rico-Martínez, 2011).

3. Referências

Agrofit (2025) **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). Disponível em:<<https://agrofit.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 15 out. 2025.

Alencar JAS (2016) **Aspectos morfológicos e bioecológicos de *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera: Curculionidae) na cultura da cana-de-açúcar**. 94 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia), UFLA, Lavras, MG.

Almeida LC (2005) **Aspectos biológicos e estratégias de manejo de *Sphenophorus levis* na cultura da cana-de-açúcar**. 145 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia), ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

Alves SB, Lopes RB (2008) **Controle microbiano de insetos**. Piracicaba: FEALQ, 414 p.

Andaló V, Moino A, Santa-Cecília LVC (2006) Occurrence of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: *Steinernema tidae* and Heterorhabditidae) in agricultural areas of Minas Gerais, Brazil. **Nematologia Brasileira** 30(2):185–188.

Armiato LL, Pereira Jr EJ, Rodrigues M, Cassel M (2025) Morphoanatomical variations of sugarcane genotypes: a micro-scale comparative analysis. **Rodriguésia** 76:e00952024.

Arroyo R, Santos D, Oliveira T, Borges A (2023) *Euborellia annulipes* mortality and predation on *Diatraea saccharalis* eggs after application of chemical and biological insecticides. **Agricultural Sciences** 14:11–22.

Badilla RC, Alves SB (1991) **Avaliação de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. no controle de *Sphenophorus levis***. São Paulo: Instituto Biológico, 9 p. Boletim Técnico IB 15.

Banks JE, Laubmeier A (2023) Compatibility of biological control and pesticides mediated by arthropod movement behavior and spatial scale. **Biological Control** 180:105199.

Barratt BIP, Moran VC, Bigler F, van Lenteren JC (2018) The status of biological control and recommendations for improving uptake for the future. **BioControl** 63(1):155–167.

Barreto-Triana N (2009) **Estudos sobre o comportamento e a morfologia de *Sphenophorus levis* Vaurie (Coleoptera: Curculionidae)**. 112 f. Tese (Doutorado em Entomologia), ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

Bassi D, Menossi M, Mattiello L (2018) Nitrogen supply influences photosynthesis establishment along the sugarcane leaf. **Scientific Reports** 8:2327.

Bellizzi AC, Pedigo LP, Rice ME (2005) Impact of insecticides on natural enemies in agroecosystems. **Journal of Economic Entomology** 98(6):1831–1837.

Berti Filho E, Macedo LPM (2011) **Fundamentos de controle biológico de insetos-praga**. Natal: IFRN Editora, 108 p.

Beuzelin JM, Reagan TE, Pollet DK (2010) Effects of harvest residue management on soil arthropods and *Diatraea saccharalis* in sugarcane. **Environmental Entomology** 39(1):200–206.

Bharadwaj RK (1966) Biology of *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae). **Annals of the Entomological Society of America** 59(1):62–67.

Biondi A, Desneux N, Siscaro G, Zappalà L (2012) Organic versus synthetic pesticides: effects on the predator *Orius laevigatus*. **PLOS ONE** 7(9):e47154.

Boldorini GX, McCary MA, Romero GQ, Mills KL, Sanders NJ, Reich PB (2024) Predators control pests and increase yield across crop types and climates: a meta-analysis. **Proceedings of the Royal Society B** 291:20232522.

Boos S, Kölliker M, Wong JWY (2014) Maternal care and offspring survival in Dermaptera. **Behavioral Ecology and Sociobiology** 68:1321–1330.

Borges FRC, Sturza VS, Bernardi D, Silva da Cunha US, Pinto AS, Nava D E (2019). Population dynamics of pests and natural enemies on sugar cane grown in a subtropical region of Brazil. **Florida Entomologist** 102(3):441–449.

Bourne A, García R, Kočárek P (2019) Predatory behavior of earwigs in agricultural ecosystems. **Biocontrol Science and Technology** 29:937–948.

Brodeur J, Boivin G (2004) Functional ecology of immature parasitoids. **Annual Review of Entomology** 49:27–49.

Bueno VHP, Carvalho GA, Santos AC (2017) Selectivity of insecticides to predators and parasitoids in agricultural systems. **BioControl** 62:473–487.

Burnell AM, Stock SP (2000) *Heterorhabditis*, *Steinernema* and their bacterial symbionts – lethal pathogens of insects. **Nematology** 2(1):31–42.

Busoli AC, Parra JRP, Venzon M (2015) **Manejo integrado de pragas: fundamentos e aplicações**. Jaboticabal: FUNEP. 210 p.

Byttebier B, Fischer S (2019) Functional role of *Euborellia annulipes* as predator of pest insects in agroecosystems. **Journal of Applied Entomology** 143(7):744–752.

Campanini EB, Polanczyk RA, Mendes J, Leite LG (2012) Toxicidade de isolados de *Bacillus thuringiensis* a larvas de *Sphenophorus levis* (Coleoptera: Curculionidae). **Neotropical Entomology** 41(3):234–239.

Canassa VF (2014) **Avaliação de fungos entomopatogênicos no controle de pragas de solo em cana-de-açúcar**. 83 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia), ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

Carvalho GA, Grützmacher AD, Passos LC, Oliveira RL (2019) Physiological and ecological selectivity of pesticides for natural enemies of insects. In: Marucci RC, Souza B, Vasques LL (Eds.) **Natural enemies of insect pests in neotropical agroecosystems: biological control and functional biodiversity**. Cham: Springer International Publishing. p. 469-478.

Casteliani AG, Dinardo-Miranda LL, Garcia V (2020) Danos de *Sphenophorus levis* Vaurie (Coleoptera: Curculionidae) em cana-de-açúcar e impacto na produtividade. **Revista STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos** 39(2):28–35.

Castro MC, Carbonari JJ, Dinardo-Miranda LL (2019) Impacto da palhada sobre a fauna de solo em canaviais do Estado de São Paulo. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos** 37(4):22–28.

Coelho BES, Murray R, Lenz M, Lins VFC, Teixeira LAC (2018). Chemical characterization of vinasse from sugarcane ethanol production and its potential environmental impacts. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 152:1–7.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, v. 11, Safra 2024/25, Quarto levantamento. Disponível em:<<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>>. Acesso em: 24 out. 2025.

Costa NP, Oliveira HD, Brito CH, Silva AB (2007) Influência do nim na biologia do predador *Euborellia annulipes* e estudo de parâmetros para sua criação massal. **Revista de Biologia e Ciências da Terra** 7(2):1-11.

Chagnon M, Kreutzweiser D, Mitchell EAD, Morrissey CA, Noome DA, van der Sluijs JP (2015) Risks of large-scale use of systemic insecticides to ecosystem functioning and services. **Environmental Science and Pollution Research** 22(1):119–134.

Christofoletti CA, Escher JP, Correia JE, Marinho JFU, Fontanetti CS (2013) Sugarcane vinasse: Environmental implications of its use. **Waste Management** 33(12):2752–2761.

Crocomo WB (1990) Effects of pesticides on beneficial arthropods. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil** 19(1):167–176.

Croteau MN, Luoma SN, Stewart AR (2005) Trophic transfer of metals along freshwater food webs: Evidence of cadmium biomagnification in nature. **Limnology and Oceanography** 50(5):1511–1519.

Cruz MA, Feitosa RM, Peronti ALBG, Martinelli NM (2025). Comunidade de formigas associadas à cochonilha-rosada da cana-de-açúcar em sistemas convencional e orgânico de produção. **Entomological Communications** 7:ec07019.

Dáder B, Moreno A, Vinuela E, Fereres A (2020) Compatibility of natural enemies with insecticides in greenhouse crops: implications for integrated pest management. **Insect Science** 27(3):533–548.

Debras JF, Rieux R, Deguine JP (2007) Role of earwigs in agroecosystems: potential as natural enemies. **Agricultural and Forest Entomology** 9(4):321–327.

De Castro-Català N, Kuzmanović M, Roig N, Sierra J, Ginebreda A, Barceló D, Pérez S, Petrović M, Picó Y (2016) Ecotoxicity of sediments in rivers: Invertebrate community, toxicity bioassays and the toxic unit approach as complementary assessment tools. **Science of the Total Environment** 540:297–306.

Degaspari N, Precetti AACM, Terán FO (1987) Biologia e comportamento do bicudo-da-cana-de-açúcar, *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera: Curculionidae). **Boletim Técnico do Instituto Agrônômico de Campinas** 117:1–27.

Degrande PE, Silva RA, Salgado LO (2002) Seletividade de inseticidas a inimigos naturais. **Revista Brasileira de Fruticultura** 24(2):489–495.

Delfanti L (2012) **Eficiência de fungos entomopatogênicos no controle de pragas subterrâneas em cana-de-açúcar**. 88 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia), ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

Desneux N, Decourtye A, Delpuech JM (2007) The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annual Review of Entomology** 52:81–106.

De Souza JM, Selegim AR, Nunes GS, Truzzi CC, Vieira NF, De Bortoli SA (2022) Predation of *Diatraea saccharalis* eggs and neonates by the earwig *Euborellia annulipes*. **Biological Control** 172:104953.

Dinardo-Miranda LL (2000) Dispersão e manejo de *Sphenophorus levis* em canaviais do Estado de São Paulo. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos** 19(4):38–43.

Dinardo-Miranda LL (2008) Pragas de solo na cana-de-açúcar: biologia e manejo. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos** 26(4):34–38.

Dinardo-Miranda LL (2008) **Pragas de solo na cana-de-açúcar: biologia e manejo**. Campinas: Instituto Agrônômico. 58 p. (Boletim Técnico).

Dinardo-Miranda LL (2011) Pragas da cana-de-açúcar. In: Dinardo-Miranda LL, Vasconcelos ACM, Landell MGA (Eds.) **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico. p. 332–404.

Dinardo-Miranda LL (2014) Pragas da cana-de-açúcar. In: Dinardo-Miranda LL, Vasconcelos ACM, Landell MGA (Eds.) **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico. p. 349–404.

Dinardo-Miranda LL (2018) **Pragas de solo na cana-de-açúcar: biologia, danos e estratégias de manejo**. Campinas: Instituto Agrônômico. 62 p. (Boletim Técnico).

Dinardo-Miranda LL e Fracasso JV (2013) Efeito da colheita sem queima na incidência de pragas de solo na cana-de-açúcar. **Bragantia** 72(1):27–34.

Dinardo-Miranda LL, Fernandes MFG, Garcia V (2012) **Pragas da cana-de-açúcar e seu manejo integrado**. Campinas: Instituto Agrônômico. 180 p. (Boletim Técnico).

Dinardo-Miranda LL, Fracasso JV (2010). Efeito de inseticidas no controle de *Sphenophorus levis* em cana-de-açúcar. **Bragantia** 69(1):115–121. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000100015>

Dinardo-Miranda LL, Fracasso JV, Garcia V (2006) Eficácia de inseticidas no controle do bicudo-da-cana. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos** 25(5):32–38.

Dolinski C, Shapiro-Ilan DI, Lewis EE (2017) Entomopathogenic nematodes as biological control agents: recent advances and future directions. **Biocontrol Science and Technology** 27(8):701–720.

Dolinski C, Moino A (2006) Interactions between entomopathogenic nematodes and natural enemies. **Neotropical Entomology** 35(1):1–8.

Duso C, Van Leeuwen T, Pozzebon A (2020) Improving the compatibility of pesticides and predatory mites: recent findings on physiological and ecological selectivity. **Current Opinion in Insect Science** 39:63–68.

EMBRAPA (2023) Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Bioinsumos para controle biológico de insetos-praga da cana-de-açúcar.

Disponível em:<<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/83695100/artigo---bioinsumos-para-controle-biologico-de-insetos-praga-da-cana-de-acucar>>. Acesso em: 23 dez. 2025.

Evangelista JR, Garcia V, Dinardo-Miranda LL (2017) Eficiência de inseticidas no controle de *Sphenophorus levis* em soqueiras. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos** 36(4):46–50.

Everard A, Wilson MJ, Dillon AB (2009) Competition and intraguild predation between entomopathogenic nematodes and parasitoids. **Biological Control** 49(3):304–309.

Fernandes FL, Bacci L, Fernandes MS (2010) Impact and selectivity of insecticides to natural enemies. **Journal of Insect Science** 10(1):1–11.

Forst S, Clarke D (2002) Bacteria–nematode symbiosis. In: Gaugher R (Ed.) **Entomopathogenic nematology**. Wallingford: CABI Publishing. p. 57–77.

Fraga PD, Gabriel GVM, Carmo JB, Espíndola ELG, Pinto TJS (2024) Sugarcane vinasse provokes acute and chronic responses and bioaccumulation of metals in benthic macroinvertebrates. **Environmental Science and Pollution Research** 31(3):4067–4079.

Franco CR, Beuzelin JM, Reagan TE (2016) Abundance of beneficial arthropods in burned and unburned sugarcane fields. **Florida Entomologist** 99(3):458–466.

Fuess LT, Rodrigues IJ, Garcia ML (2017) Fertirrigation with sugarcane vinasse: foreseeing potential impacts on soil and water resources through vinasse characterization. **Journal of Environmental Science and Health** 52(11):1063–1072.

Fulton BB (1924) The biology of the earwigs (Dermaptera). **Journal of the New York Entomological Society** 32(3):224–236.

Gabarra R, Alins G, Riudavets J (2015) Biological control potential of *Euborellia annulipes* in mediterranean cropping systems. **Crop Protection** 74:128–135.

Galli M, Feldmann F, Vogler UK, Kogel KH (2024) Can biocontrol be the game-changer in integrated pest management? A review of definitions, methods and strategies. **Journal of Plant Diseases and Protection** 131(2):265-291.

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.

Garriga A, Morton A, García-López D, García-del-Pino F (2019) Compatibility of entomopathogenic nematodes with natural enemies for horticultural pest control. **Biological Control** 138:104050.

Gibson DM, Donzelli BGG, Krasnoff SB, Keyhani NO (2014) Discovering the secondary metabolite potential encoded within entomopathogenic fungi. **Natural Product Reports** 31(10):1287–1305.

Giometti FH (2009) **Distribuição geográfica e aspectos morfológicos de *Sphenophorus levis* Vaurie (Coleoptera: Curculionidae) em canaviais do sul do Brasil**. 85 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia), UFPR, Curitiba, PR.

Gould GE (1948) Biology of the earwig *Euborellia annulipes*. **Journal of Economic Entomology** 41(1):91–95.

Gould F, Brown ZS, Kuzma J (2018) Wicked evolution: can we address the sociobiological dilemma of pesticide resistance? **Science** 360(6390):728–732.

Grewal PS, Ehlers R-U, Shapiro-Ilan DI (2001) **Nematodes as biological control agents**. Wallingford: CABI Publishing. 528 p.

Grewal PS, Ehlers R-U, Shapiro-Ilan DI (2005) **Nematodes as biocontrol agents**. Wallingford: CAB International. 505 p.

Griffin CT, Boemare NE, Lewis EE (2005) Biology and behaviour. In: Grewal PS, Ehlers R-U, Shapiro-Ilan DI (Eds.). **Nematodes as biological control agents**. Wallingford: CABI Publishing. p. 47–64.

Guimarães JH, Tucci EC, Gomes L (1992) Morfologia e biologia de *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae). **Revista Brasileira de Entomologia** 36(1):77–83.

Gurr GM, Wratten SD, Luna JM (2012) Multi-function agricultural biodiversity: pest management and other benefits. **Basic and Applied Ecology** 13(8):681–689.

Haas F (2019) Dermaptera: a review of world diversity. **Zootaxa** 4678(1):1–40.

Hamadah MA, Ghoneim K (2024) Compatibility of entomopathogenic nematodes with agrochemicals and impact on their infectivity. **Egyptian Journal of Biological Pest Control** 34(1):112–122.

Hassan SA (1998) Guidelines for testing the effects of pesticides on beneficial arthropods. **IOBC/WPRS Bulletin** 21(1):1–15.

Hodson AK, Siegel JP, Lewis EE (2011) Ecological interactions between entomopathogenic nematodes and insects. **Biological Control** 56(2):127–135.

Jacobs AC, Stigall T (2019) Paternity and egg cannibalism in the ringlegged earwig *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae). **Entomological Science** 22(3):250–25.

Kaya HK, Gaugler R (1993) Entomopathogenic nematodes. **Annual Review of Entomology** 38:181–206.

Klostermeyer EC (1942) Studies on earwigs as predators of insect pests. **Journal of Economic Entomology** 35(5):736–742.

Kočárek P, John V, Hulcr J (2013) Functional morphology and sexual dimorphism of Dermaptera cercal forceps. **Arthropod Structure e Development** 42(5):379–387.

Kogan M (1998) Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. **Annual Review of Entomology** 43:243–270.

Koller J, Sutter L, Gonthier J, Collatz J, Norgrove L (2023) Compatibility of entomopathogenic fungi, nematodes, predators and parasitoids in biological control programs. **Pathogens** 12(7):957.

Kumar A, Pal S, Chand H (2019) Insect pests of sugarcane and their management: an overview. **Advances in Agricultural Entomology** 3:1–18.

Koppert Biological Systems (2025) Proteção biológica de culturas e soluções para controle de pragas. Disponível em:<<https://www.koppert.com.br/>>. Acesso em: 01 jan. 2026.

Lacerda M, Silva J, Oliveira R, et al. (2019) Características fisiológicas e bioquímicas da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.): gramínea semi-perene, híbrido interespecífico com fotossíntese C4 e alta eficiência na conversão de energia solar em sacarose. **Revista Brasileira de Agrociência** 45(4):675.

Lacey LA, Grzywacz D, Shapiro-Ilan DI, Frutos R, Brownbridge M, Goettel MS (2015) Insect pathogens as biological control agents: back to the future. **Journal of Invertebrate Pathology** 132:1–41.

Landell MGA, Campana MP, Figueiredo P (2012) **Sistema de Mudanças Pré-Brotadas (MPB)**: tecnologia IAC para cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônomo. 40 p.

Leite LG, Batista Filho A, Moino Júnior A, Almeida JEM (2006) Avaliação de nematoides entomopatogênicos no controle de pragas de solo em cana-de-açúcar. **Bragantia** 65(4):627–632.

Leite LG, Batista Filho A, Tavares FM (2012) Avaliação de *Heterorhabditis indica* e *Steinernema* sp. no controle de *Sphenophorus levis* (Coleoptera: Curculionidae). **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos** 30(2):28–33.

Leite LG, Leite JM, Mendes J (2011) Eficiência de nematoides entomopatogênicos no controle de *Sphenophorus levis*. **Neotropical Entomology** 40(2):189–196.

Leite LG, Machado LA, Ginarte CMA (2004) Nematóides contra os insetos. **Cultivar** 64:12–15.

Lemos WP, Medeiros RS, Ramalho FS (1998) Predation of *Anthonomus grandis* by *Euborellia annulipes*. **Neotropical Entomology** 27(4):555–559.

Lewis EE, Campbell J, Griffin C, Kaya HK, Peters A (1992) Behavioral ecology of entomopathogenic nematodes. **Biological Control** 24(2):247–258.

Li W, Wang X, Zhou X, Shen L, Luo Y (2019) Integrated pest management in sugarcane: strategies and advances. **Agricultural Sciences** 10(5):598–610.

Lindegren JE, Vail PV, Wong TT (1990) Infectivity of entomopathogenic nematodes against the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). **Journal of Economic Entomology** 83(4):1436–1440.

Liu Y, Tabashnik BE, Dennehy TJ (2014) Integrating natural enemies and transgenic crops for sustainable pest management. **Trends in Biotechnology** 32(3):189–197.

Lopes AR (2002) **Caracterização da atividade proteolítica digestiva de *Sphenophorus levis* e avaliação da proteína Chagasina em plantas transgênicas de cana-de-açúcar**. 147 f. Tese (Doutorado em Entomologia) – ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

Lopes DOP, Dinardo-Miranda LL, Busoli AC (2011) Atualidades em pragas da cultura da cana-de-açúcar: sudeste e nordeste do Brasil. In: Busoli AC, Fraga DF, Santos LC, Alrnar JRCC, Grigolli FJ, Janini JC, Souza LA, Viana MA, Finichello M. (Eds.). **Tópicos em entomologia agrícola – IV**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda. p. 47-64.

Macedo N, Botelho PSM, Araújo JR (2012) **Pragas da cana-de-açúcar**. Maceió: Insetos e Cia. 285 p.

Machado LC, Guidolin AS, Carvalho GA (2019) Selectivity of insecticides to beneficial insects in cotton cropping systems. **Crop Protection** 119:84–92.

Marques RN, Santos CB, Godoy WA (2019) Benefícios ecológicos da palhada no controle biológico de pragas subterrâneas. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos** 38(3):34–40.

Martins CF, Castro JF, Figueiredo P (2020) Atratividade de vinhaça e iscas tratadas com fungos para o controle de *Sphenophorus levis*. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos** 39(4):24–30.

Matos GF, Ramalho DG, De Bortoli SA (2025) Field record of *Sphenophorus levis* flight. **International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources** 35(4):556418

Matos MC, Silva FW, Filgueiras RM, Lima DB, Melo JW (2025) Compatibility of pesticides with the predatory mite *Neoseiulus barkeri*. **Experimental and Applied Acarology** 92(1):27-39.

Matzke D, Kočárek P (2015) Taxonomic review of the family Anisolabididae (Dermaptera). **Zoological Journal of the Linnean Society** 175:654–671.

Mehdi F, Cao Z, Zhang S, Gan Y, Cai W, Peng L, Wu Y, Wang W, Yang B. (2024) Factors affecting the production of sugarcane yield and sucrose accumulation: suggested potential biological solutions. **Frontiers in Plant Science** 15:1374228.

Melamed-Madjar V (1971) On the biology and pest status of *Euborellia annulipes*. **Israel Journal of Entomology** 6(1):15–22.

Mendonça AF (1996) **Pragas da cana-de-açúcar**. Maceió: Insetos e Cia. 239 p.

Mendonça AF (2005) **Manejo integrado de cigarrinhas em cana-de-açúcar**. Maceió: Insetos e Cia. 112 p.

Meunier J (2024) The biology and social life of earwigs (Dermaptera). **Annual Review of Entomology** 69:259–276.

Monteiro LM, Silva GA, Garcia JF (2022) Aspectos ecológicos e estratégias de controle da broca-da-cana *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae). **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos** 40(2):32–40.

Moore PH, Botha FC (2013) **Sugarcane: Physiology, Biochemistry and Functional Biology**. New York: John Wiley & Sons. 716 p.

Moraes GJ, Ávila CJ (2014) **Pragas da cana-de-açúcar e seu manejo integrado**. Jaboticabal: FUNEP. 212 p.

Morato DS, Pereira FF, Silva RA (2023) Selectivity of modern insecticides to *Euborellia annulipes* in sugarcane fields. **Crop Protection** 165:106224.

Neiswander RB (1944) Life history of the earwig *Euborellia annulipes*. **Annals of the Entomological Society of America** 37(3):365–369.

Nguyen KB, Dolinski C, Leite LG, Moino Júnior A (2010) *Steinernematid* and heterorhabditid nematodes from Brazil. **Nematology** 12(4):515–528.

Nunes AM, Sousa AN, Pacheco DJ (2019) Predation capacity of *Euborellia annulipes* on sugarcane borer eggs. **Journal of Applied Entomology** 143:120–128.

Nunes RS, Borges Filho AC, Carvalho GA (2018) Predatory potential of *Euborellia annulipes* on sugarcane pests. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos** 37(3):44–49.

Oliveira CM, Auad AM, Mendes SM, Frizzas MR (2013) Economic impact of exotic insect pests in Brazilian agriculture. **Journal of Economic Entomology** 106(1):1–7.

Ortiz-Urquiza A, Keyhani NO (2013) Action on the surface: Entomopathogenic fungi versus the insect cuticle. **Insects** 4(3):357–374.

Osei EA, Akansake D, Kareem MO, Gbaal LC, Aluah D (2021) Economic importance and management of insect pests – a review. **Global Scientific Journal** 9(9):1124–1137.

Parkins AJ, Kheirodin A, Perier JD, Cremonez PS, Riley DG, Simmons, AM, Schmidt JM (2024). Efeitos diretos e indiretos de inseticidas seletivos em 2 predadores generalistas de *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). **Journal of Insect Science** 24(6):7905088.

Parnaudeau V, Condom N, Oliver R, Cazevieille P, Recous S (2008) Vinasse organic matter quality and mineralization potential, as influenced by raw material, fermentation and concentration processes. **Bioresource Technology** 99(6):1553–1562.

Parra JRP, Botelho PSM, Corrêa-Ferreira BS (2002) **Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores**. São Paulo: Manole. 607 p.

Pedigo LP, Rice ME (2014) **Entomology and pest management**. Long Grove: Waveland Press. 784 p.

Pérez J (2008) Avaliação do método “atrai e mata” para o controle do bicudo-da-cana *Sphenophorus levis*. **Revista Colombiana de Entomología** 34(2):121–128.

Pinto AS, Botelho PSM, Macedo N (2009) **Controle biológico de pragas da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: ESALQ/USP. 198 p.

Polanczyk RA, Dinardo-Miranda LL, Almeida LC (2004) Avaliação de *Bacillus thuringiensis* e fungos entomopatogênicos no controle de *Sphenophorus levis*. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos** 22(3):44–48.

Prabowo H, Fibriyanto M, Sutrianto A (2021) Impact of habitat manipulation on the diversity and abundance of beneficial and pest arthropods in sugarcane fields. **Biodiversitas** 22(9):4002–4010.

Precetti AACM (1991) **Manejo cultural de pragas de solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ/USP. 36 p.

Precetti AACM, Arrigoni EB (1990) **O bicudo-da-cana-de-açúcar, *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera: Curculionidae): biologia, ecologia e controle**. Piracicaba: ESALQ/USP. 54 p.

Precetti AACM, Degaspari N, Terán FO (1983) Ciclo biológico e comportamento do bicudo-da-cana-de-açúcar, *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera: Curculionidae). **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo de Campinas** 101:1–19.

Rahardjo BTR, Soehartono T, Priyanto Y (2023) Ant preference for different types of bait at sugarcane fields. **Biodiversitas** 24(3):2159–2166.

Ramalho FS, Wanderley PA (1996) Predation of boll weevil by *Euborellia annulipes*. **Neotropical Entomology** 25(1):23–30.

Recieri LP, Dinardo-Miranda LL, Beloti IF (2018) Efeito do sistema de cultivo MEIOSI sobre a infestação de *Sphenophorus levis* em cana-de-açúcar. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos** 37(3):44–49.

Rehner SA, Minnis AM, Sung G-H, Luangsa-ard JJ, Devotto L, Humber RA (2011) Phylogeny and systematics of the anamorphic, entomopathogenic genus *Beauveria*. **Mycologia** 103(5):1055–1073.

Rosa JS, Dolinski C, Leite LG (2013) Diversity of entomopathogenic nematodes in Brazilian agricultural soils. **Nematropical** 43(1):18–28.

Rosa RM, Dinardo-Miranda LL, Casteliani AG (2024) Dinâmica populacional e manejo de *Sphenophorus levis* em áreas de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos** 41(3):22–31.

Rosenheim JA, Kaya HK, Ehler LE, Marois JJ, Jaffee BA (1995) Intraguild predation among biological-control agents: theory and evidence. **Biological Control** 5(3):303–335.

Rossetto R, Santiago AD (2022a) **Pragas**. Disponível em:<<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/producao/manejo/fitossanidade/pragas>>. Acesso em: 15 out. 2025.

Rossetto R, Santiago AD (2022b) **Cana-de-açúcar**: desafios e oportunidades no manejo integrado de pragas. Ribeirão Preto: STAB, 156 p.

Roy S, Beuzelin JM, Reagan TE (2018) Effects of green cane management on arthropod communities. **Environmental Entomology** 47(5):1102–1111.

Salgado LO, Carvalho GA, Degrande PE (2002) Physiological selectivity of insecticides to natural enemies. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 37(3):321–328.

Santos DF (2017) **Eficiência de entomopatógenos no controle de pragas de solo da cana-de-açúcar**. 95 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia), ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

Santos KB, Dinardo-Miranda LL, Garcia V (2017) Natural control of *Diatraea saccharalis* in unburned sugarcane fields. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos** 35(2):2228.

Santos RV, Godoy WA, Vacari AM (2015) Population dynamics and dispersal of *Diatraea saccharalis* in sugarcane. **Florida Entomologist** 98(1):170–178.

Savi PJ, Bellini MR, Oliveira H, Ferro D (2024) Compatibility of synthetic and biological pesticides with the predator *Phytoseiulus longipes* (Acari: Phytoseiidae). **Experimental and Applied Acarology** 93:273–295.

Schmidt-Jeffris R, Beers EH, Dunley JE (2023) Non-target effects of pesticides on natural enemies in perennial crops. **Biological Control** 185:105234.

Schmitt AT, Batista Filho A, Alves SB (1992) Controle do moleque-da-bananeira *Cosmopolites sordidus* (Coleoptera: Curculionidae) com *Steinernema carpocapsae*. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil** 21(1):131–137.

Schrank A, Vainstein MH (2010) *Metarhizium anisopliae* enzymes and toxins. **Toxicon** 56(7):1267–1274.

Schroeder WJ (1990) Biological control of citrus root weevil *Diaprepes abbreviatus* with entomopathogenic nematodes. **Florida Entomologist** 73(2):300–305.

Showler AT, Reagan TE (1991) Effects of sugarcane residue management on arthropod natural enemy populations and associated pest dynamics in Louisiana sugarcane. **Environmental Entomology** 20(3):543.

Silva AB, Batista JL, Brito CH (2010) Aspectos biológicos de *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae) alimentada com o pulgão *Hyadaphis foeniculi* (Hemiptera: Aphididae). **Revista Caatinga** 23(1):21–27.

Silva MSO, Cardoso JFM, Ferreira MEP, Baldo FB, Silva RSA, Chacon-Orozco JG, Shapiro-Ilan DI, Hazir S, Bueno CJ, Leite LG (2021) An assessment of *Steinernema rarum* as a biocontrol agent in sugarcane with focus on *Sphenophorus levis*, host-finding ability, compatibility with vinasse and field efficacy. **Agriculture** 11(6):500.

Silva JG, Ramos DS, Tavares PL, Santos MR (2024) Estimation of predation rate and handling time of *Euborellia annulipes* under artificial diet conditions. **Brazilian Journal of Biology** 84:e254593.

Silva LBL, Gomes FB, Oliveira HN (2009) Biologia e potencial de predação de *Euborellia annulipes* em pragas de solo. **Bragantia** 68(1):115–123.

Silva RM, Oliveira FC, Santos LP (2023) A bioeconomia da cana-de-açúcar e a sustentabilidade energética no Brasil. **Revista Brasileira de Energia Renovável** 12(3):45–59.

Simi LD (2014) **Interação entre fungos e nematoides entomopatogênicos no controle de pragas de solo**. 98 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia), ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

Singh SP, Castro MC, Dinardo-Miranda LL (2021) Soil biodiversity and natural pest regulation in green cane systems. **Applied Soil Ecology** 165:103981.

Smaniotto MA (2019) **Interações entre fungos entomopatogênicos e pragas de solo da cana-de-açúcar**. 78 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia), ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

Souza GF, Almeida MP, Rodrigues TH (2024) Cogeração e etanol de segunda geração: perspectivas tecnológicas do setor sucroenergético brasileiro. **Sustainable Environment Research** 34(2):210–222.

Symondson WOC, Sunderland KD, Greenstone MH (2002) Can generalist predators be effective biocontrol agents? **Annual Review of Entomology** 47:561–594.

Tavares FM (2006) **Avaliação de nematóides entomopatogênicos contra o bicudo da cana-de-açúcar *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978, e efeito da associação desses agentes com inseticidas químicos**. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Proteção de Plantas), UNESP, Botucatu, SP.

Tavares FM, Leite LG, Batista Filho A (2007) Eficiência de nematoides entomopatogênicos no controle do bicudo-da-cana-de-açúcar *Sphenophorus levis*. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos** 25(5):32–36.

van Driesche RG, Bellows TS (1996) **Biological Control**. New York: Chapman & Hall. 539 p.

van Lenteren JC, Bolckmans K, Köhl J, Ravensberg WJ, Urbaneja A (2020) Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. **BioControl** 65:1–26.

van Lenteren JC, Bueno VHP (2003) Augmentative biological control of arthropod pests in tropical crops. **Biological Control** 26(2):217–224.

Vanolli BS, Andrade N, Canisares, L P, Franco, ALC, Pereira APA, Cherubin M R (2024) Edaphic mesofauna responses to land use change for sugarcane cultivation: insights from contrasting soil textures. **Frontiers in Ecology and Evolution** 11:1–14.

Vaurie P (1978) A new species of *Sphenophorus* (Coleoptera: Curculionidae) from Brazil. **American Museum Novitates** 2646:1–8.

Venzon M, Sujii E, Pires CS (2010) Interactions of natural enemies with non-cultivated plants and their role in the biological control of insect pests in agroecosystems. **Recomendações Técnicas para o Controle de Lepidópteros em Hortaliças**, Embrapa/CNPTIA.

Wadt LHO (2016) **Feromônio de agregação de *Sphenophorus levis* Vaurie (Coleoptera: Curculionidae) e seu potencial no manejo integrado**. 77 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia), UFLA, Lavras, MG.

Wong JWY, Kölliker M (2012) Evolution and maintenance of maternal care in earwigs. **Evolutionary Ecology** 26:669–682.

Xavier LF (2020) **Flutuação populacional de *Sphenophorus levis* (Coleoptera: Curculionidae) em diferentes sistemas de cultivo de cana-de-açúcar**. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical), UFMS, Campo Grande, MS.

CAPÍTULO 2 - Seletividade e mortalidade de *Euborellia annulipes* e *Sphenophorus levis* com inseticidas químicos e biológico, associados ou não a vinhaça de cana-de-açúcar

Resumo – A mortalidade de pragas agrícolas causada por artrópodes predadores constitui um serviço ecossistêmico fundamental para a sustentabilidade dos sistemas de produção. A tesourinha *Euborellia annulipes* é um importante inimigo natural associado ao controle de diferentes insetos-praga em diversos agroecossistemas, incluindo o da cana-de-açúcar, onde coexiste com *Sphenophorus levis*, uma das principais pragas da cultura. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar a seletividade de inseticidas químicos e biológicos para *E. annulipes*, bem como a mortalidade de adultos de *S. levis*, quando expostos a resíduos secos dos inseticidas Engeo Pleno® S (tiаметoxam + lambda-cialotrina) e Verimark® (ciantraniliprole) e do bioinseticida Boveril® (*Beauveria bassiana*), aplicados isoladamente ou em associação com vinhaça de cana-de-açúcar. Para *E. annulipes*, foram avaliados os efeitos letais e subletais em ninfas de quinto ínstar, incluindo duração do estágio ninfal, sobrevivência, peso de fêmeas adultas, longevidade, fecundidade e fertilidade. Para *S. levis*, foi avaliado o efeito letal (mortalidade) de adultos, utilizando os mesmos tratamentos e condições experimentais, com exposição aos resíduos secos dos produtos. Os resultados demonstraram que Engeo Pleno® S e Verimark® causaram mortalidade rápida e significativa tanto em *E. annulipes* quanto em *S. levis*, evidenciando elevada toxicidade e baixa seletividade ao predador. Em contraste, o bioinseticida Boveril® apresentou mortalidade progressiva e tardia para *S. levis*, característica de seu modo de ação, enquanto para *E. annulipes* não provocou mortalidade significativa, embora tenha alterado parâmetros biológicos importantes. A associação dos inseticidas com vinhaça reduziu a toxicidade direta dos produtos, permitindo maior sobrevivência e desenvolvimento das ninfas de *E. annulipes*, afetando, porém, o desempenho biológico do predador, como prolongamento do estágio ninfal e alterações reprodutivas. Para *S. levis*, essa associação resultou em redução da mortalidade em comparação aos tratamentos isolados, sugerindo possível efeito de diluição e interferência físico-química da vinhaça na eficiência dos ingredientes ativos. Embora a vinhaça possa reduzir a toxicidade direta dos inseticidas, sua utilização em associação aos produtos pode comprometer o controle da praga e afetar negativamente organismos benéficos.

Palavras-chave: controle biológico, tesourinha, compatibilidade, bicudo da cana, manejo integrado de pragas

Abstract - The mortality of agricultural pests caused by arthropod predators constitutes a fundamental ecosystem service for the sustainability of crop production systems. The earwig *Euborellia annulipes* is an important natural enemy associated with the control of several insect pests in agroecosystems, including sugarcane, where it coexists with *Sphenophorus levis*, one of the major pests of this crop. In this context, the present study aimed to evaluate the selectivity of chemical and biological insecticides toward *E. annulipes*, as well as the mortality of adult *S. levis* exposed to dry residues of the insecticides Engeo Pleno® S (thiamethoxam + lambda-cyhalothrin) and Verimark® (cyantraniliprole), and the bioinsecticide Boveril® (*Beauveria bassiana*), applied alone or in association with sugarcane vinasse. For *E. annulipes*, lethal and sublethal effects were assessed in fifth-instar nymphs, including nymphal duration, survival, adult female weight, longevity, fecundity, and fertility. For *S. levis*, adult mortality was evaluated under the same treatments and experimental conditions, with exposure to dry residues of the products. The results showed that Engeo Pleno® S and Verimark® caused rapid and significant mortality in both *E. annulipes* and *S. levis*, indicating high toxicity and low selectivity to the predator. In contrast, the bioinsecticide Boveril® induced progressive and delayed mortality in *S. levis*, consistent with its mode of action, while no significant mortality was observed for *E. annulipes*, although important biological parameters were affected. The association of insecticides with vinasse reduced the direct toxicity of the products, allowing greater survival and development of *E. annulipes* nymphs; however, it negatively affected the predator's biological performance, including prolonged nymphal duration and reproductive alterations. For *S. levis*, this association resulted in lower mortality compared to insecticides applied alone, suggesting a dilution effect and possible physicochemical interference of vinasse with the efficacy of the active ingredients.

Keywords: biological control, earwig, compatibility, sugarcane weevil, integrated pest management

1. Introdução

A cana-de-açúcar é uma das culturas economicamente mais importantes do Brasil e o manejo adequado de pragas é um dos principais desafios para garantir altos níveis de produtividade (Moraes et al., 2022; Sentelhas et al., 2023; Armiato et al., 2025).

Diversas estratégias de manejo são empregadas, incluindo os controles químico, biológico e cultural, além do uso de tecnologias que visam reduzir perdas e minimizar impactos ambientais. Embora o controle químico seja amplamente utilizado devido à sua eficiência e praticidade em grandes áreas, métodos complementares, como o controle biológico, têm assumido importância, especialmente no manejo de pragas-chave, como *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) e *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera: Curculionidae) (Dinardo-Miranda e Fracasso, 2013; Parra, 2019; Casteliani et al., 2020; Parra e Coelho Júnior, 2022).

Entre essas pragas, *S. levis* destaca-se como uma das mais prejudiciais à cana-de-açúcar no Brasil e uma das principais pragas de solo da cultura. Suas larvas atacam rizomas e a base dos colmos, produzindo galerias internas, interrupção do fluxo de seiva, redução do perfilhamento e queda significativa de produtividade, com prejuízos que podem ultrapassar 30% dependendo do nível de infestação (Dinardo-Miranda, 2018; Santos, 2021).

O manejo de *S. levis* envolve práticas culturais, como eliminação de soqueiras infestadas e táticas químicas e biológicas, incluindo o uso de inseticidas e fungos entomopatogênicos como *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. (Hypocreales: Cordypitacidae) e *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin (Hypocreales: Clavicipitaceae) (Fernández-Grandon et al., 2020; Santos et al., 2021). Estudos de mortalidade em *S. levis* indicam que esses agentes possuem eficácia variável, dependendo das condições de aplicação, formulação e características ambientais do solo (Martins et al., 2020; Nascimento, 2024).

A vinhaça, subproduto da produção do etanol, é amplamente utilizada em fertirrigação devido ao seu valor agrônomo e ao grande volume produzido. Contudo, sua aplicação pode modificar características físico-químicas do solo e influenciar tanto a dinâmica populacional de pragas como *S. levis*, quanto a

atividade de organismos benéficos presentes no agroecossistema (Precetti e Arrigoni, 1990; Dinardo-Miranda, 2018). Estudos indicam que concentrações elevadas de vinhaça podem prejudicar microrganismos e invertebrados, incluindo nematoides entomopatogênicos e insetos benéficos (Pedrosa et al., 2005; Silva et al., 2021). Dessa forma, compreender a interação entre vinhaça e produtos fitossanitários é essencial para avaliar possíveis sinergismos ou antagonismos que possam alterar sua eficácia no campo.

Organismos benéficos desempenham papel fundamental na regulação de populações de pragas, destacando-se os dermápteros predadores como *Euborellia annulipes* (Lucas, 1847) (Dermaptera: Anisolabididae), comuns em canaviais manejados sem queimadas e pouco revolvidos (Showler e Reagan, 1991; Beuzelin et al., 2010; Franco et al., 2016; Roy et al., 2018; Orpet et al., 2019). Esses predadores atuam no controle natural de diversas pragas agrícolas, incluindo *D. saccharalis* e coleópteros associados a rizomas e pseudocauls (Ramalho, 1994; Urbaneja et al., 2006; Silva et al., 2009; Moral et al., 2017; Orpet et al., 2019). Considerando a crescente adoção de programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP), torna-se imprescindível selecionar insumos fitossanitários que apresentem seletividade fisiológica e/ou ecológica, reduzindo a mortalidade de inimigos naturais e preservando suas eficiências dentro do sistema (Elzen, 2001; Roubos et al., 2014; Schmidt-Jeffris, 2023).

No entanto, pouco se sabe sobre como a aplicação conjunta de inseticidas químicos, bioinseticidas e vinhaça podem impactar simultaneamente pragas e inimigos naturais. A presença da vinhaça pode influenciar a persistência e disponibilidade dos resíduos dos inseticidas no ambiente, alterando sua eficácia e/ou toxicidade (Precetti e Arrigoni, 1990; Dinardo-Miranda, 2018). Assim, torna-se necessário compreender não apenas os efeitos diretos sobre *S. levis*, mas também os efeitos diretos e subletais sobre organismos benéficos que coabitam o mesmo agroecossistema, gerando informações que contribuam para a eficiência do controle biológico natural (Pedrosa et al., 2005; Silva et al., 2021).

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a seletividade a *E. annulipes* e a mortalidade de *S. levis*, quando expostos a resíduos secos dos inseticidas químicos Engeo Pleno® S (Tiametoxam + Lambda-Cialotrina) e Verimark® (Ciantraniliprole) e do bioinseticida Boveril® (*B. bassiana*), aplicados isoladamente ou em associação à vinhaça de cana-de-açúcar. Para *E. annulipes*

foram analisados os efeitos letais e subletais em ninfas de quinto ínstar, enquanto para adultos de *S. levis* foi avaliado apenas o efeito letal (mortalidade).

2. Material e métodos

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Biologia e Criação de Insetos (LBCI) do Departamento de Fitossanidade (DF), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Campus de Jaboticabal, São Paulo, Brasil, em condições controladas de temperatura (25 ± 2 °C), umidade relativa de ($70 \pm 10\%$) e fotoperíodo de (12L:12E).

2.1. Criação do predador *Euborellia annulipes*

A colônia de *E. annulipes* foi mantida em recipientes plásticos circulares para ninfas (9,0 cm de altura $\times$ 15,0 cm de diâmetro) e retangulares (13,0 cm $\times$ 20,0 cm $\times$ 7,0 cm) para adultos. Cada recipiente continha 40 ninfas e 36 adultos (razão sexual 3:1), respectivamente, papel toalha dobrado em formato W (substrato para refúgio) umedecido com água destilada e o substrato alimentar, que consistia de uma dieta artificial composta por: ração inicial para frangos (350,0 g), levedo de cerveja (220,0 g), farelo de trigo (260,0 g), leite em pó (130,0 g) e Metilparabeno (40,0 g) (Silva et al., 2009). A dieta foi fornecida em tubos tipo Eppendorf (2,0 mL).

2.2. Obtenção de *Sphenophorus levis*

Foram utilizados insetos coletados em áreas de produção de cana-de-açúcar na região de Jaboticabal, sem aplicação de inseticidas e com histórico de ocorrência da praga, devido ainda à dificuldade de se manter a criação desta espécie em laboratório. Nos recipientes, foi mantida a razão sexual e idade dos insetos, conforme as coletas de campo.

Nos canaviais selecionados foram instaladas iscas não tóxicas, compostas por toletes (20,0 a 30,0 cm) de cana-de-açúcar cortados longitudinalmente, previamente imersos em calda com melaço por 24 horas para

facilitar a atração dos insetos (Girón-Perez, 2009). Posteriormente foram distribuídos aleatoriamente sobre o solo, próximos às soqueiras e cobertos com palha, conforme metodologia descrita por Precetti e Terán (1983). Decorridos 6 dias foi feita a verificação destas iscas e os insetos adultos encontrados foram recolhidos, acondicionados em potes plásticos contendo pequenos pedaços de toletes de cana e transportados para o laboratório.

2.3. Produtos utilizados

2.3.1. Inseticidas químicos e biológico

Os produtos utilizados (nomes comerciais, ingredientes ativos, grupos químicos, doses, volumes de calda e mecanismos de ação) encontram-se relacionados na Tabela 1, sendo os mesmos comumente usados no manejo de pragas de solo da cana-de-açúcar, com as dosagens de trabalho seguindo as recomendações dos fabricantes para *S. levis*.

Tabela 1 - Inseticidas químicos e biológico utilizados nos bioensaios, grupos químicos, doses, volumes de calda e mecanismos de ação.

Marca comercial (ingrediente ativo)	Grupo químico	Dose do produto comercial	Volume de calda	Mecanismo de ação
Engeo Pleno® S (Tiametoxam + Lambda-Cialotrina)	Neonicotinoide Piretroide	2,0 a 2,5 L. ha ⁻¹	150,0 L. ha ⁻¹	Contato e ingestão
Verimark® (Ciantraniliprole)	Diamida antranílica	750 a 1000 mL. ha ⁻¹	200 a 300 L. ha ⁻¹	Ingestão e Contato
Boveril® <i>Beauveria bassiana</i>	Biológico	500 g. ha ⁻¹	150,0 L. ha ⁻¹	Contato

2.3.2. Vinhaça

A vinhaça utilizada (Tabela 2) foi cedida pela Usina São Martinho, localizada em Pradópolis, São Paulo, Brasil. O volume de aplicação de vinhaça em condições de campo varia entre usinas sucroenergéticas, pois seu uso está relacionado ao aporte nutricional e depende da concentração de potássio presente no subproduto, sendo que neste trabalho adotou-se o volume de 30.000 L ha⁻¹, conforme a prática utilizada na região canavieira de Pradópolis (Costa et al., 2021; Alves et al., 2025). Em campo, a vinhaça é aplicada, em média, a uma

temperatura de aproximadamente 35-40 °C (Silva et al., 2018; Alves et al., 2025), condição na qual os inseticidas são adicionados e, para simular essa condição em laboratório, o subproduto foi aquecido até atingir aquela faixa de temperatura.

Tabela 2 - Composição da vinhaça utilizada nos bioensaios laboratoriais.

Composição	Unidade	Valores
Ph	---	4,7
Nitrogênio – N	Kg/m ³	0,73
Fósforo – P ₂ O ₅	Kg/m ³	0,09
Potássio – K ₂ O	Kg/m ³	3,6
Cálcio – CaO	Kg/m ³	0,86
Magnésio – MgO	Kg/m ³	0,62
Enxofre – S	Kg/m ³	0,78
Sódio – Na	Kg/m ³	0,07
Cobre – Cu	Ppm	2,9
Ferro – Fe	Ppm	16,9
Manganês – Mn	Ppm	4,3
Zinco – Zn	Ppm	1,8

2.4. Tratamentos

Os tratamentos (Tabela 3) consistiram nos inseticidas químicos e no biológico, descritos na Tabela 1, além da vinhaça (Tabela 2), sendo testados isoladamente e em misturas. O controle foi composto por água de osmose reversa estéril.

Os produtos dos respectivos tratamentos foram diluídos em água de osmose reversa estéril. Para os tratamentos com Boveril® foi adicionado 0,01% v/v de Tween® 80 (Polisorbato), considerando um volume de aplicação de 150 L ha⁻¹. Nos tratamentos compostos por misturas dos produtos fitossanitários e vinhaça (T6; T7 e T8), as misturas foram preparadas da mesma forma que com os tratamentos isolados, sendo a quantidade de vinhaça calculada com base em aplicação de 30.000 L ha⁻¹. A proporção entre inseticida e vinhaça nas misturas foi ajustada e estimada para aplicação na área de uma placa de Petri (0,63 cm²), simulando a área de campo.

Tabela 3 - Tratamentos utilizados nos testes de seletividade para *Euborellia annulipes*.

Tratamentos	Composição
T1	Controle (água deionizada estéril)
T2	Vinhaça
T3	Boveril® + 0,01% v/v de Tween® 80 (polisorbato)
T4	Engeo Pleno® S (tiametoxam + lambda-cialotrina)
T5	Verimark® (ciantraniliprole)
T6	Vinhaça + Boveril® + 0,01% v/v de Tween® 80 (polisorbato)
T7	Vinhaça + Engeo Pleno® S (tiametoxam + lambda-cialotrina)
T8	Vinhaça + Verimark® (ciantraniliprole)

2.5. Bioensaios de exposição de *Euborellia annulipes* e *Sphenophorus levis* a resíduos secos

Para a realização destes bioensaios foram utilizadas ninfas de 5º ínstar (24–48 h desde a muda) de *E. annulipes* provenientes da criação estabelecida no LBCI e adultos de *S. levis* coletados em campo. Os parâmetros biológicos do predador e a mortalidade da praga foram registrados a partir da exposição de ambos aos resíduos secos dos tratamentos conforme a metodologia proposta por Desneux et al. (2006) e Ko et al. (2015). Cada tratamento foi composto por 60 indivíduos de cada espécie, que foram mantidos em placas de Petri (60 mm × 15 mm) de forma individualizada. Já nos tratamentos com os produtos isolados (T1, T2, T3, T4 e T5) foram utilizadas placas de Petri de vidro (60 mm × 15 mm) que foram tratadas com os diferentes tratamentos. Cada uma das placas recebeu 2,0 mL da calda do respectivo tratamento, aplicados por meio de micropipeta volumétrica.

Nos tratamentos em mistura (T6, T7 e T8) também foram utilizadas placas de Petri de vidro (0,63 cm²) tratadas com as respectivas combinações. A proporção de cada componente dos tratamentos foi calculada de modo que cada placa recebesse 0,0095 mL de inseticida/bioinseticida + 1,90 mL de vinhaça. As misturas foram aplicadas com micropipeta volumétrica.

Após o tratamento, as placas foram rotacionadas para garantir a distribuição homogênea da calda sobre toda a superfície interna, sendo, em

seguida, transferidas para uma câmara de fluxo laminar onde permaneceram até a completa secagem ($\approx$ 2 horas).

Após a secagem, os insetos (predador e praga) foram expostos aos resíduos secos dos tratamentos, sendo as placas cobertas com tecido do tipo “voile” fixado por elástico. Durante todo o período experimental os insetos receberam alimento por meio de um tubo Eppendorf® de 2,0 mL contendo as dietas descritas.

A mortalidade de *E. annulipes* foi registrada diariamente até que os indivíduos sobreviventes atingissem a fase adulta, considerando o dia da exposição aos tratamentos. Já a mortalidade de *S. levis* foi avaliada por um período de 14 dias, diariamente, registrando-se o número de insetos mortos. Nos casos em que o bioinseticida à base de fungos foi utilizado, a mortalidade foi confirmada por meio da observação do crescimento micelial sobre os insetos, deixando-os acondicionados em câmara úmida.

Com os indivíduos de *E. annulipes* que atingiram a fase adulta foi determinada a razão sexual, sendo eles então separados em casais ($n = 15$) em placas de Petri (16,0 cm de diâmetro) com a mesma dieta fornecida às ninfas. No interior das placas foi colocado papel dobrado em camadas (2,0 cm de largura) e umedecido, servindo como refúgio. Foram registradas a longevidade e a sobrevivência, além da fecundidade e a fertilidade. Para a fecundidade das fêmeas foram avaliados os períodos de pré-oviposição, de oviposição e de pós-oviposição, bem como o número de posturas, de ovos por postura e o número de ovos por fêmea durante toda a longevidade. Adicionalmente também foram determinados o período de incubação e a taxa de eclosão das ninfas.

2.6. Peso do predador

Todos os adultos obtidos (machos e fêmeas) foram pesados 24 horas após atingirem a fase adulta.

2.7. Análise estatística

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado. Os dados foram previamente submetidos aos testes de normalidade e

homogeneidade de variâncias. Quando os pressupostos foram atendidos, procedeu-se à análise de variância (ANOVA), com as médias comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Quando os dados não atenderam a esses pressupostos, utilizou-se a análise não paramétrica por meio do procedimento NPAR1WAY, com comparação de medianas pelo teste de Kruskal–Wallis ($p < 0,05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas no software SAS® (versão 2022).

3. Resultados

3.1. Mortalidade de *Sphenophorus levis*

Os resultados sobre a mortalidade de *S. levis* exposto aos diferentes tratamentos encontram-se discriminados na Tabela 4 e mostram que a mortalidade do inseto diferiu significativamente entre os tratamentos ao longo de todo o período de avaliação ($P < 0,0001$). Nos tratamentos controle, a mortalidade permaneceu residual durante todo o experimento, não ultrapassando 2,0% até o 15º dia. De modo semelhante, a vinhaça aplicada isoladamente resultou em baixa mortalidade, atingindo no máximo 4,0% ao final do período experimental, indicando ausência de efeito letal relevante.

O tratamento com Boveril® apresentou mortalidade nula até o 5º dia de avaliação, com início do efeito apenas a partir do 7º dia (16,0%), aumentando para 44,0% no 10º dia e alcançando 82,0% no 15º dia. Esse padrão é consistente com o modo de ação dos fungos entomopatogênicos, como *B. bassiana*, cuja infecção ocorre por contato e penetração pela cutícula do inseto, resultando em ação mais lenta quando comparado à dos inseticidas químicos de efeito neurotóxico ou sistêmico.

Entre os inseticidas químicos, Engeo Pleno® S destacou-se por promover elevada mortalidade desde as primeiras avaliações, atingindo 34,0% no 1º dia, 68,0% no 3º dia e 88,0% no 5º dia, mantendo-se estável até o final do período experimental. O inseticida Verimark® também apresentou efeito significativo inicial, com mortalidade de 10,0% no 1º dia, aumentando para 18,0% no 3º dia e alcançando 70,0% no 5º dia, com incremento gradual até 76,0% no 15º dia.

A associação de vinhaça com Boveril® resultou em mortalidade inferior à observada para o agente biológico isolado, iniciando-se no 7º dia (18,0%) e atingindo 50,0% no 10º dia e 66,0% no 15º dia. Já a mistura vinhaça + Engeo Pleno® S apresentou mortalidade intermediária e constante ao longo do tempo, com valores de 22,0% no 1º dia e estabilização em 56,0% do 3º ao 15º dia, indicando redução da eficácia quando comparada ao inseticida aplicado isoladamente. Comportamento semelhante foi observado para a associação vinhaça + Verimark®, cuja mortalidade aumentou de 4,0% no 1º dia para 46,0% no 5º dia, mantendo-se nesse patamar até o 15º dia, valor inferior ao observado para o produto isolado.

De forma geral, os resultados evidenciam que a mortalidade de *S. levis* foi dependente do tempo de exposição e do tipo de tratamento, com inseticidas químicos promovendo mortalidade mais rápida e intensa, enquanto o agente biológico apresentou efeito gradual, compatível com seu modo de ação. As associações com vinhaça alteraram o padrão de mortalidade observado para os produtos isolados, sugerindo interferência na eficácia residual desses tratamentos.

Tabela 4 - Mortalidade (%) de *Sphenophorus levis* ao longo do tempo após exposição por contato com resíduos secos de inseticidas químicos, biológicos e suas associações com vinhaça.

Tratamentos	Dias					
	1º dia	3º dia	5º dia	7º dia	10º dia	15º dia
Controle	0±0c	0±0d	2,0±2,0d	2,0±2,0c	2,0±2,0c	2,0±2,0e
Vinhaça	0±0c	2,0±2,0d	4,0±2,79d	4,0±2,79c	4,0±2,79c	4,0±2,79e
Boveril®	0±0c	0±0d	0±0d	16,00±5,23c	44,00±7,09b	82,00±5,48ab
Engeo Pleno®S	34,00±6,76 ^a	68,00±6,66a	88,00±4,64a	88,00±4,64a	88,00±4,64a	88,00±4,64a
Verimark®	10,00±4,28c	18,00±5,48c	70,00±6,54b	74,00±6,26a	76,00±6,10a	76,00±6,10ab
Vinhaça + Boveril®	0±0c	0±0d	0±0d	18,00±5,48c	50,00±7,14b	66,00±6,76bc
Vinhaça + Engeo Pleno®S	22,00±5,91b	56,00±7,09b	56,00±7,09c	56,00±7,09b	56,00±7,09b	56,00±7,09cd
Vinhaça + Verimark®	4,00±2,79c	10,00±4,28cd	46,00±7,11c	46,00±7,11b	46,00±7,11b	46,00±7,11d
χ^2	71,42	167,59	282,95	159,19	134,87	156,44
P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

¹Médias ± EP seguidas por letras diferentes na coluna indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Kruskal-Wallis, comparação pareada pelo teste de Wilcoxon (P < 0,05).

3.2. Período de vida e viabilidade de *Euborellia annulipes*

A duração do quinto ínstar de *E. annulipes* foi significativamente maior para as ninfas expostas aos tratamentos Vinhaça + Engeo Pleno® S ($25,75 \pm 0,53$ dias) e Vinhaça + Verimark® ($25,12 \pm 0,23$ dias), os quais diferenciaram estatisticamente dos demais tratamentos ($P < 0,0001$) (Tabela 4).

Além disso, observou-se que os tratamentos Vinhaça ($20,38 \pm 0,30$ dias), Boveril® ($20,56 \pm 0,29$ dias) e Vinhaça + Boveril® ($18,00 \pm 0,31$ dias) apresentaram diferenças significativas em relação ao controle, que teve a menor média (≈ 17 dias). A viabilidade do quinto ínstar de *E. annulipes* foi de aproximadamente 97,0% para o controle, com diferença significativa para os demais tratamentos ($P < 0,0001$), com exceção a Vinhaça ($88,33 \pm 4,17$ dias). O tratamento Vinhaça + Engeo Pleno® S apresentou a menor viabilidade, com média de aproximadamente 48,0%. Para os tratamentos isolados com Engeo Pleno® S e Verimark® não foi possível avaliar a duração do quinto ínstar e a viabilidade, uma vez que os indivíduos não sobreviveram até a fase adulta (Tabela 4).

Tabela 5 - Período de vida e viabilidade do 5º ínstar de *Euborellia annulipes* após exposição por contato com resíduos secos de inseticidas químicos, biológicos e suas associações com vinhaça.

Tratamentos	Duração do 5º ínstar (dias)	Viabilidade (%)
Controle	$16,79 \pm 0,29$ d	$96,99 \pm 4,42$ a
Vinhaça	$20,38 \pm 0,30$ b	$88,33 \pm 4,17$ ab
Boveril®	$20,56 \pm 0,29$ b	$86,66 \pm 4,42$ b
Engeo Pleno® S	-	-
Verimark®	-	-
Vinhaça + Boveril®	$18,00 \pm 0,31$ c	$83,33 \pm 4,85$ b
Vinhaça + Engeo Pleno® S	$25,75 \pm 0,53$ a	$48,33 \pm 6,50$ c
Vinhaça + Verimark®	$25,12 \pm 0,23$ a	$78,33 \pm 5,36$ b
χ^2	194,44	276,77
P	< 0,0001	< 0,0001

¹Médias $\pm$ EP seguidas por letras diferentes na coluna indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Kruskal-Wallis, comparação pareada pelo teste de Wilcoxon ($P < 0,05$).

3.3. Sobrevivência de ninfas de *Euborellia annulipes*

A sobrevivência das ninfas de quinto instar de *E. annulipes*, ilustrada pela Figura 1, foi analisada ao longo de 24 dias após a exposição aos tratamentos. Na primeira avaliação (1 Dia Depois da Aplicação - DDA) foi observado diferença significativa para o tratamento Engeo Pleno® S, com porcentagem de sobrevivência aproximada de 74,0%, enquanto os demais tratamentos não apresentaram mortalidade. Na 2ª avaliação (2 DDA), os tratamentos mantiveram a sobrevivência próxima de 100%, exceção feita ao Engeo Pleno® S onde se obteve 100% de mortalidade.

Na 3ª avaliação (8DDA), Verimark® apresentou sobrevivência de aproximadamente 43,0%, enquanto com Vinhaça + Engeo Pleno® S foi de aproximadamente 77,0%, diferindo significativamente dos outros tratamentos. Na 4ª avaliação (14 DDA), ocorreu diferença significativa entre Verimark®, Vinhaça + Engeo Pleno® S e Vinhaça + Verimark®, com porcentagens de sobrevivência de 6,67%, 48,34% e 78,34%, respectivamente. Na última avaliação (24 DDA) foi constatada diferença significativa entre os tratamentos, excetuando-se Engeo Pleno® S e Verimark®, onde não foi observada sobrevivência, enquanto com Vinhaça + Engeo Pleno® S, Vinhaça + Verimark® e Vinhaça + Boveril® as sobrevivências de ninfas foram de aproximadamente 49,0%, 78,0% e 84,0%, respectivamente.

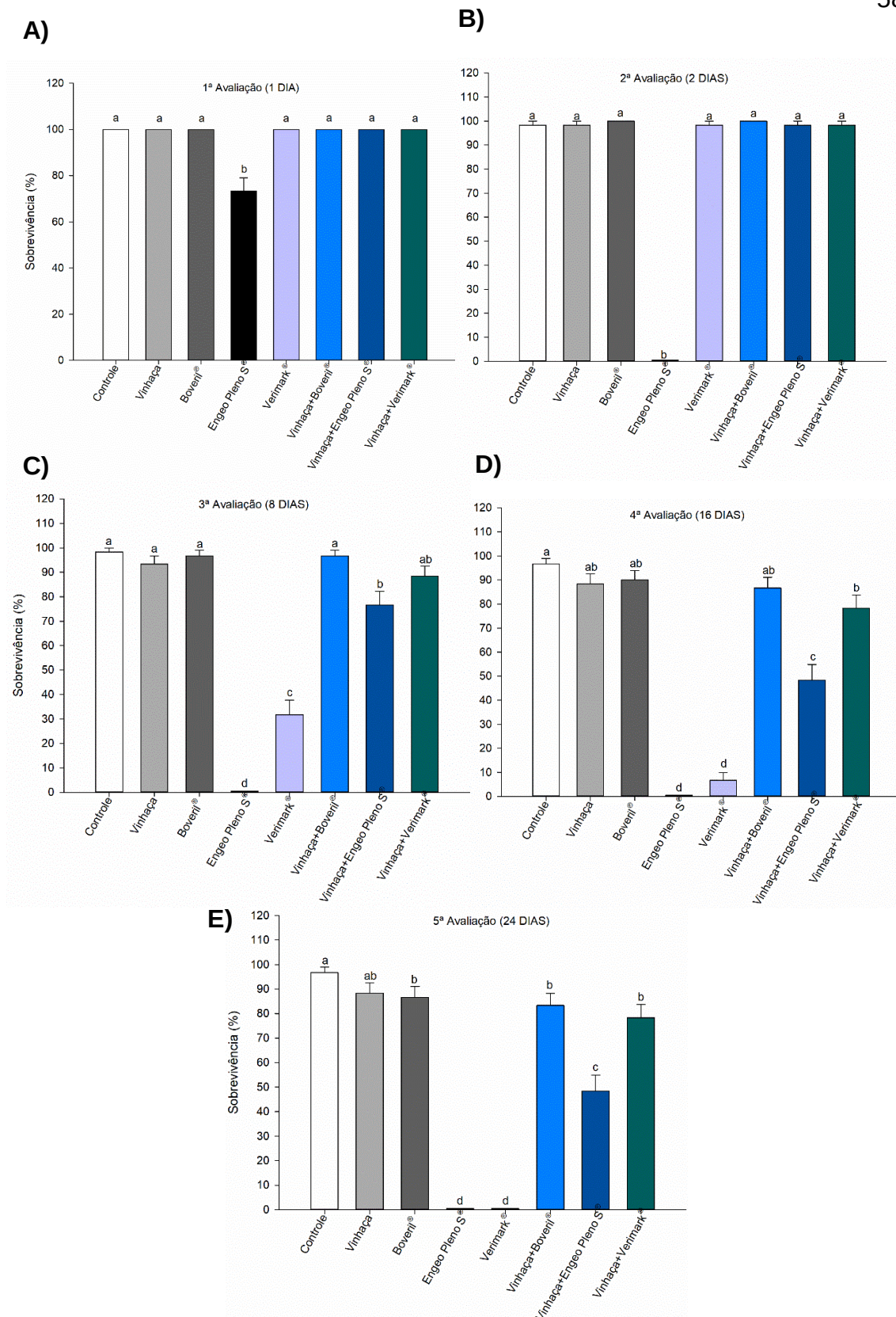


Figura 1 - Porcentagem de sobrevivência de (ninfas de 5º Instar de) *Euborellia annulipes* após exposição por contato com resíduos secos de inseticidas químicos, biológicos e suas associações com vinhaça. (A) 1ª Avaliação (1 dia); (B) 2ª Avaliação (2 dias); (C) 3ª Avaliação (8 dias); (D) 4ª Avaliação (16 dias); e (E) 5ª Avaliação (24 dias).

Médias $\pm$ EP seguidas por letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos ($P < 0,05$) pelo teste Kruskal-Wallis, comparação pareada pelo teste de Wilcoxon.

3.4. Peso de adultos, razão sexual e longevidade de *Euborellia annulipes*

Conforme evidencia a Figura 2, não houve diferença significativa para o peso de machos de *E. annulipes* ($\chi^2 = 9,1074$; $P = 0,1049$) quando expostos aos diferentes tratamentos, com o peso de fêmeas apresentando diferença significativa, sendo o maior valor observado para o controle com média de 0,0522 gramas. Já a menor média de peso foi observado para as fêmeas do tratamento com Vinhaça + Engeo Pleno® S (0,0393 gramas).

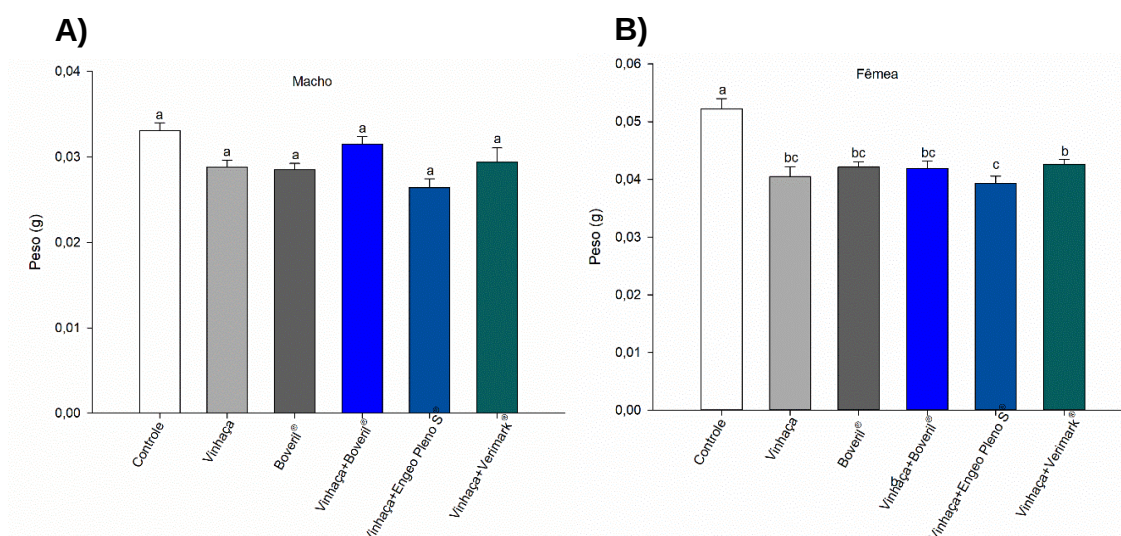


Figura 2 - Peso médio $\pm$ EP de adultos de *Euborellia annulipes* após exposição por contato com resíduos secos de inseticidas químicos, biológicos e suas associações com vinhaça. (A) Macho e (B) Fêmea.

Médias $\pm$ EP seguidas por letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos ($P < 0,05$) pelo teste Kruskal-Wallis, comparação pareada pelo teste de Wilcoxon.

Em relação a razão sexual, não houve diferença significativa entre os tratamentos ($\chi^2 = 1,11$; $P = 0,9531$), com variação entre $0,46 \pm 0,07$ e $0,54 \pm 0,06$, enquanto a longevidade dos machos apresentou diferença significativa, com vida mais longa registrada para no controle ($113,00 \pm 3,49$ dias) e a mais curta para Vinhaça + Engeo Pleno® S ($33,20 \pm 9,95$ dias). Para fêmeas, os tratamentos que apresentaram diferença significativa dos demais foram Vinhaça + Engeo Pleno® S e Vinhaça + Verimark®, com médias $42,93 \pm 12,31$ dias e $92,33 \pm 11,86$ dias, respectivamente (Tabela 6).

Tabela 6 - Razão sexual e longevidade de *Euborellia annulipes* após exposição por contato com resíduos secos de inseticidas químicos, biológicos e suas associações com vinhaça.

Tratamentos	Razão sexual	Longevidade (dias)	
		Macho	Fêmea
Controle	$10,51 \pm 0,06$ a	$113,0 \pm 3,49$ a	$139,0 \pm 1,69$ a
Vinhaça	$0,54 \pm 0,06$ a	$110,0 \pm 3,27$ a	$132,60 \pm 1,37$ a
Boveril®	$0,51 \pm 0,06$ a	$106,86 \pm 3,49$ b	$129,33 \pm 1,95$ a
Engeo Pleno®S	-	-	-
Verimark®	-	-	-
Vinhaça + Boveril®	$0,46 \pm 0,07$ a	$107,13 \pm 3,17$ b	$120,80 \pm 12,82$ a
Vinhaça + E. Pleno®S	$0,47 \pm 0,08$ a	$33,20 \pm 9,95$ c	$42,93 \pm 12,31$ b
Vinhaça + Verimark®	$0,53 \pm 0,07$ a	$75,66 \pm 12,5$ bc	$92,33 \pm 11,86$ b
χ^2	1,11	39,77	56,22
P	= 0,9531	P<0,0001	P<0,0001

¹Médias $\pm$ EP seguidas por letras diferentes na coluna indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Kruskal-Wallis, comparação pareada pelo teste de Wilcoxon ($P < 0,05$).

3.5. Fecundidade e fertilidade de *Euborellia annulipes*

Não foi possível avaliar os parâmetros de fecundidade e fertilidade para Engeo Pleno® S e Verimark®, uma vez que os insetos morreram antes de chegar à fase adulta, não permitindo a formação de casais. Houve influência dos diferentes tratamentos nos períodos reprodutivos de *E. annulipes*, como no de pré-oviposição que variou entre 16 e 22 dias ($\chi^2 = 32,93$; $P < 0,0001$), no de oviposição que ficou entre 54 e 96 dias ($\chi^2 = 98,90$; $P < 0,0001$) e no de pós-oviposição que foi entre 14 e 23 dias ($\chi^2 = 37,55$; $P < 0,0001$) (Tabela 7).

Tabela 7 - Parâmetros de fecundidade de *Euborellia annulipes* após exposição por contato com resíduos secos de inseticidas químicos, biológicos e suas associações com vinhaça.

Parâmetros Biológicos	Tratamentos					
	Controle	Vinhaça	Boveril®	Vinhaça+ Boveril®	Vinhaça+ Engeo Pleno® S	Vinhaça+ Verimark®
Pré-oviposição (dias)	¹ 19,86±0,33b	18,60±0,33c	17,26±0,33d	16,92±0,75d	22,25±0,90a	20,18±0,78ab
χ^2 P			32,93 <0,0001			
Oviposição (dias)	¹ 96,33±1,19a	92,40 ±1,05b	94,66 ± 1,31 ^a	92,35±1,59b	54,71±2,94c	71,33±7,11d
χ^2 P			98,90 <0,0001			
Pós-oviposição (dias)	¹ 22,33±0,77a	19,00±0,76b	18,00±0,8b	19,14±1,09ab	14,42±1,13c	16,81±1,21d
χ^2 P			37,55 <0,0001			

¹Médias ± EP seguidas por letras diferentes na linha indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Kruskal-Wallis, comparação pareada pelo teste de Wilcoxon ($P < 0,05$).

Em relação aos demais parâmetros, houve efeito no número de posturas ($\chi^2 = 33,61$; $P < 0,0001$), com Vinhaça + Verimark® e Vinhaça + Engeo Pleno® S apresentando os menores valores em relação aos demais tratamentos, respectivamente $3,09 \pm 0,28$ e $2,42 \pm 0,20$ (Tabela 8).

O número de ovos por postura também apresentou diferença significativa entre os tratamentos ($\chi^2 = 18,74$; $P < 0,0001$), variando de 56 a 71 ovos/postura, onde o controle e a vinhaça apresentaram as maiores médias $70,91 \pm 1,85$ e $69,19 \pm 1,55$, respectivamente, não diferindo de Vinhaça + Engeo Pleno® S ($66,71 \pm 2,61$). A quantidade total de ovos colocados por fêmea ($\chi^2 = 32,57$; $P < 0,0001$), o período de incubação ($\chi^2 = 22,08$; $P < 0,0005$) e a taxa de eclosão ($\chi^2 = 18,85$; $P = 0,0020$) foram influenciadas pelos tratamentos, com Vinhaça + Verimark® e Vinhaça + Engeo Pleno® S apresentando as menores médias.

Tabela 8 - Parâmetros de fertilidade de *Euborellia annulipes* após exposição por contato com resíduos secos de inseticidas químicos, biológicos e suas associações com vinhaça.

Parâmetros Biológicos	Tratamentos					
	Controle	Vinhaça	Boveril®	Vinhaça+ Boveril®	Vinhaça+ E.Pleno® S	Vinhaça+ Verimark®
Posturas (no.)	¹ 4,5±0,16 ^a	4,46±0,16ab	4,13±0,19ab	4,00±0,16b	2,42±0,20c	3,09±0,28c
χ^2 P			33,61 <0,0001			
Ovos/postura (no.)	¹ 70,91±1,85 ^a	69,19±1,55a	64,49±1,90b	64,97±1,90b	66,71±2,61ab	56,80±2,52c
χ^2 P			18,74 < 0,0021			
Ovos/fêmea (no.)	¹ 288,0±8,07 ^a	275,53±9,28ab	267,00±15,2ab	247,64±13,88b	169,42±10,19c	179,81±17,46c
χ^2 P			¹ 32,57 <0,0001			
Incubação (dias)	¹ 14,10±0,40abc	14,33±0,16ab	14,52±0,25a	13,19±0,40bc	12,27±0,35c	12,94±0,42cd
χ^2 P			22,08 <0,0005			
Taxa de eclosão (%)	¹ 80,66±1,69 ^a	80,63±2,00a	79,33±1,95a	78,88±2,02a	60,59±10,68b	69,17±1,97b
χ^2 P			18,85 <0,0020			

¹Médias ± EP seguidas por letras diferentes na linha indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Kruskal-Wallis, comparação pareada pelo teste de Wilcoxon ($P < 0,05$).

4. Discussão

Os resultados obtidos confirmam que a mortalidade de *S. levis* pode ser influenciada pelo tipo de produto aplicado e pelo modo de ação envolvido. Os inseticidas químicos apresentaram mortalidade mais rápida e elevada, comportamento típico de moléculas de ação neurotóxica ou sistêmica, amplamente utilizadas no manejo dessa praga na cultura da cana-de-açúcar. Por outro lado, o fungo entomopatogênico *B. bassiana* apresentou efeito tardio e progressivo, característica inerente ao seu mecanismo de infecção, que envolve adesão dos conídios à cutícula, germinação, penetração e colonização do hospedeiro, levando a morte do inseto (Zimmermann, 2007; Faria e Wraight, 2007). Esse padrão já foi relatado para *S. levis* em estudos anteriores, nos quais o controle biológico apresentou eficiência acumulada ao longo do tempo, reforçando seu potencial como ferramenta em programas de manejo integrado (Smaniotto, 2019).

A redução da mortalidade observada nos tratamentos associados à vinhaça indica que esse subproduto pode interferir na eficácia dos inseticidas e

do agente biológico. A vinhaça apresenta elevada carga de matéria orgânica, altos teores de íons e elevada condutividade elétrica, características que favorecem reações químicas com os ingredientes ativos, comprometendo sua estabilidade e biodisponibilidade (Cunha e Alves, 2009; Pazuch et al., 2017). Conforme demonstrado por Nascimento (2023), a diluição de inseticidas na vinhaça pode resultar em caldas altamente reativas, capazes de reduzir a eficiência de controle de *S. levis*, especialmente quando a concentração final do ingrediente ativo sobre o inseto se torna insuficiente para causar mortalidade. Além disso, o grande volume de aplicação associado à vinhaça pode intensificar o efeito de diluição, reduzindo a toxicidade residual dos produtos.

No caso do fungo *B. bassiana*, a associação com vinhaça pode ainda afetar diretamente a viabilidade e a infectividade dos conídios. Estudos indicam que variações de pH, elevada condutividade elétrica e presença de compostos orgânicos podem comprometer a germinação e o desenvolvimento do fungo, reduzindo sua eficiência entomopatogênica (Jaronski, 2010; Zampiroli et al., 2017). Assim, embora a vinhaça seja amplamente utilizada no sistema canavieiro por seus benefícios agrônômicos, os resultados obtidos neste estudo, bem com alguns mostrados na literatura, indicam que sua utilização como diluente de produtos fitossanitários pode resultar em controle insuficiente de *S. levis*. Esse cenário pode favorecer a sobrevivência da praga, aumentar a pressão populacional e demandar reaplicações, refletindo negativamente nos princípios do manejo integrado de pragas e na sustentabilidade do sistema produtivo, conforme discutido por Smaniotto (2019) e Nascimento (2023).

Em relação aos bioensaios dos efeitos letais e subletais dos inseticidas Engeo Pleno®S (tiamectoxam + lambda-cialotrina) e Verimark® (ciantraniliprole) e do inseticida biológico Boveril® (*B. bassiana*) associados ou não à vinhaça, a exposição de ninfas de 5º ínstar de *E. annulipes* mostrou que a suscetibilidade do predador variou conforme o tratamento, com a maioria das combinações permitindo a sobrevivência e o desenvolvimento até a fase adulta.

Entretanto, o tratamento com Engeo Pleno® S (neonicotinoide + piretroide), seguido do Verimark® (diamida) foram os tratamentos mais letais, resultando em mortalidade total dos indivíduos, evidenciando ausência de seletividade fisiológica para o predador.

Neonicotinoides e piretroides, aplicados isoladamente ou em associação, são amplamente utilizados na cultura da cana-de-açúcar, sendo que 68,7% da área plantada recebe tratamento com inseticidas do grupo das diamidas (Kynetec, 2023; Cana Online, 2025). Estudos prévios indicam que os diamídicos, como ciantraniliprole e clorantraniliprole, podem causar mortalidade significativa em ninfas de *E. annulipes*, evidenciando seu impacto negativo sobre esse predador (Potin et al., 2022).

A alta suscetibilidade das ninfas aos inseticidas diamídicos pode estar associada à modificação estrutural decorrente da presença do átomo de cloro na 5ª posição do anel fenil no grupo ciano, o que aumenta a afinidade por receptores em diferentes grupos de insetos (Hughes et al., 2004). Isso sugere que a fase ninfal do predador pode estar mais vulnerável aos efeitos tóxicos desses compostos em comparação à fase adulta. Os resultados desta pesquisa corroboram estudos anteriores que evidenciam a nocividade dos neonicotinoides e piretroides para tesourinhas e outros inimigos naturais, impactando negativamente suas populações e comprometendo seu potencial como agentes de controle biológico (Campos et al., 2011; Redoan et al., 2013; Mills et al., 2016; Barbosa et al., 2017; Barros et al., 2018; Machado et al., 2019; Skouras et al., 2021).

A sobrevivência das ninfas de *E. annulipes*, avaliada ao longo de 24 dias após a aplicação (DAA) dos produtos, permitiu observar que Engeo Pleno® S (tiametoxam + lambdacialotrina) resultou em mortalidade total já aos 2 DAA, evidenciando sua elevada toxicidade e rápida ação letal sobre o predador. Esse efeito pode ser atribuído à ação sinérgica entre os dois princípios ativos, sendo o tiametoxam um neonicotinoide que age como agonista dos receptores nicotínicos de acetilcolina (nAChRs), enquanto a lambdacialotrina, um piretroide que atua nos canais de sódio dependentes de voltagem, promovendo hiperexcitação nervosa e rápida paralisia (Brasil, 2024; IRAC, 2025).

Pelos resultados encontrados neste trabalho foi possível constatar que os indivíduos expostos a Engeo Pleno® S apresentaram espasmos musculares e comportamento descoordenado intenso antes da morte, característico da ação neurotóxica de seus componentes. Essa hiperexcitação neuronal pode comprometer a locomoção, a capacidade predatória e outras funções essenciais

para a sobrevivência e o desempenho ecológico desses organismos no agroecossistema.

Em contraste, o Verimark® (ciantraniliprole) apresentou efeito letal significativamente mais lento nas ninfas de *E. annulipes*, sendo aos 14 DAA ainda observada taxa de sobrevivência de 6,67%, com a mortalidade total ocorrendo somente aos 24 DAA. Esse efeito pode ser explicado pelo mecanismo de ação das diamidas antranílicas, como o ciantraniliprole, que atuam ativando os receptores de rianodina (RyR), causando desregulação da liberação de cálcio nas células musculares dos insetos (IRAC, 2025). Essa interferência leva à paralisia muscular progressiva, o que justifica sua menor velocidade de letalidade em comparação aos neonicotinoides e piretroides que afetam diretamente a transmissão neural e provocam morte mais rápida.

A classe de inseticidas das diamidas geralmente é seletiva para inimigos naturais, como demonstrado por Stecca et al. (2014), relatando que cloranthraniliprole e flubendiamida não afetaram *Doru lineare* (Scudder, 1876) (Dermaptera: Forficulidae), podendo sua toxicidade, assim, variar entre espécies de Dermaptera. Potin et al. (2022) observaram que ciantraniliprole causou 100% de mortalidade de ninfas e adultos de *E. annulipes* até 38 dias após a exposição por contato, um efeito semelhante ao registrado neste estudo, com essas diferenças no tempo de letalidade podendo ter implicações significativas para a preservação de inimigos naturais em programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP).

Os resíduos secos dos tratamentos Vinhaça + Verimark® e Vinhaça + Engeo Pleno® S permitiram a sobrevivência de cerca de 48,0% e 78,0% das ninfas, respectivamente, possibilitando o desenvolvimento até a fase adulta. Dessa forma, embora os inseticidas isolados não sejam seletivos para *E. annulipes*, sua aplicação em conjunto com a vinhaça permitiu a sobrevivência e que as ninfas do predador alcançassem a fase adulta. No entanto, a associação dos inseticidas com a vinhaça afetou parâmetros biológicos essenciais, como duração do período ninfal, peso das fêmeas e longevidade, além de influenciar parâmetros reprodutivos, incluindo fecundidade e fertilidade, com esses efeitos podendo comprometer a capacidade de estabelecimento e desempenho populacional de *E. annulipes* nos agroecossistemas.

A vinhaça, quando aplicada em grandes volumes, pode exercer efeito de diluição, reduzindo a concentração efetiva dos inseticidas e, consequentemente, a toxicidade direta sobre os organismos alvos e não-alvos. No entanto, estudos indicam que, mesmo com a diluição, a interação entre a vinhaça e os inseticidas pode resultar em efeitos sinérgicos ou aditivos, amplificando impactos negativos sobre predadores e outros inimigos naturais (Correia, 2015; Pinto et al., 2021a; Cotta et al., 2023).

Poucos estudos avaliaram a influência do sexo na resposta de dermápteros à exposição a inseticidas e bioinseticidas, com Redoan et al. (2013) não observando diferenças na sobrevivência de machos e fêmeas de *Doru luteipes* (Scudder, 1876) (Dermaptera: Forficulidae), resultado semelhante ao encontrado neste estudo, onde os tratamentos contendo vinhaça associada a Verimark® e Engeo Pleno® S não provocaram diferença na razão sexual de *E. annulipes* em relação ao controle.

No entanto, os tratamentos descritos acima reduziram significativamente a longevidade de indivíduos em crisopídeos contaminados com esses inseticidas, que apresentaram menor longevidade em comparação ao controle, como os relatos Lima (2018) e Silva (2015), onde o prolongamento da fase larval em *Ceraeochrysa genanigra* Freitas, 2003 (Neuroptera: Chrysopidae), exposta a resíduos secos de lambdacialotrina, foi constatado. Da mesma forma, Dantas (2016) observou efeitos adversos em *Chrysoperla externa* Hagen, 1861 (Neuroptera: Chrysopidae), com aumento da duração do desenvolvimento larval, assim como ocorreu neste trabalho para o período ninfal de *E. annulipes*, com os inseticidas associados a vinhaça, reforçando a afirmação de que a exposição a inseticidas, mesmo em associação com vinhaça, pode comprometer a longevidade e o desenvolvimento desses predadores.

Em relação aos tratamentos com Boveril® e Vinhaça + Boveril® não foi observada mortalidade significativa, com a longevidade de *E. annulipes* mantendo-se semelhante à do grupo controle. Esses resultados estão em concordância com estudos anteriores que indicam que *B. bassiana* não causa mortalidade significativa em ninfas e adultos de *E. annulipes* (Oliveira et al., 2011; Arroyo et al., 2023; Souza et al., 2024), tampouco afeta a longevidade de outras espécies de Dermaptera (Resende, 2022; Resende et al., 2025).

Um aspecto relevante a ser considerado é a possibilidade de mecanismos de defesa química em tesourinhas, que podem conferir resistência a infecções fúngicas. Por exemplo, a espécie *Forficula auricularia* Linnaeus, 1758 (Dermaptera: Forficulidae) apresenta defesas químicas que inibem a infecção por fungos entomopatogênicos (Gasch et al., 2013). No entanto, essa condição ainda não foi investigada em *E. annulipes*, indicando a necessidade de estudos futuros.

É importante destacar que alguns estudos relatam efeitos adversos de entomopatógenos em inimigos naturais, principalmente em relação a alterações no ciclo de vida e parâmetros biológicos (Magalhães et al., 1998; Pessoa et al., 2005; Silva et al., 2016; Resende, 2022; Taguti et al., 2023), com Resende (2022) observando que o isolado IBCB 66 de *B. bassiana* afetou características biológicas de *D. luteipes*, com prolongamento significativo da duração do 3º e do 4º ínstaes ninfais.

Resultados semelhantes foram encontrados no presente estudo, com um pequeno aumento na duração do 5º ínstar ninfal até a fase adulta, sendo que efeitos comparáveis também foram reportados para outros predadores, com Pessoa et al. (2005) citando aumento na duração do 3º ínstar de larvas de *C. externa* após exposição a resíduos secos de *B. bassiana*. Além disso, Todorova et al. (1998) citam prolongamento do ciclo de desenvolvimento de *Coleomegilla maculata* De Geer, 1775 (Coleoptera: Coccinellidae) quando exposta ao mesmo fungo.

Embora os efeitos de *B. bassiana* sobre a fecundidade e fertilidade de *E. annulipes* ainda sejam pouco estudados, algumas pesquisas apontam impactos variáveis em outros predadores. Resende (2022) registrou um pequeno aumento no número de ovos depositados por *D. luteipes* após a exposição de ninfas a *M. anisopliae* em diferentes concentrações, embora a diferença tenha sido de apenas cinco a seis ovos em relação ao controle. Em contraste, Roy et al. (2008) observaram redução significativa na fecundidade de fêmeas de *Harmonia axyridis* (Pallas, 1773) (Coleoptera: Coccinellidae) expostas a diferentes concentrações de *B. bassiana*. É importante ressaltar que os efeitos desses bioinseticidas podem variar de acordo com a concentração de conídios e as cepas utilizadas em cada produto, sendo que no presente estudo, as concentrações de *B. bassiana* adotadas seguiram as recomendações do

fabricante e não causaram mortalidade em ninfas de *E. annulipes*, sugerindo que o fungo pode ser seletivo para essa espécie dentro das condições testadas.

A vinhaça demonstrou prolongar o estágio ninfal do 5º ínstar de *E. annulipes*, com esse efeito provavelmente relacionado à interferência nos processos fisiológicos e metabólicos do inseto, como já relatado em estudos com outros organismos não-alvo (Cotta et al., 2023). A vinhaça é reconhecida por seu alto potencial poluente (Ortegón et al., 2016), sendo que seu uso excessivo pode acarretar sérios impactos ambientais, como a redução do oxigênio dissolvido em corpos d'água e a proliferação de microrganismos, devido à sua elevada carga orgânica e concentração de metais (Botelho et al., 2012).

A presença simultânea de vinhaça e agrotóxicos em ambientes naturais pode resultar em efeitos combinados distintos daqueles observados quando esses compostos são avaliados isoladamente (Herbrandson et al., 2003). Estudos laboratoriais já demonstraram interações antagônicas ou sinérgicas entre fipronil e 2,4-D em *Chironomus sancticaroli* (Strixino e Strixino, 1981) (Diptera: Chironomidae) (Pinto et al., 2021b), sugerindo que a combinação de diferentes poluentes pode amplificar ou mitigar seus efeitos tóxicos. Adicionalmente, experimentos com *Drosophila melanogaster* (Meigen, 1830) (Diptera: Drosophilidae) indicaram que a exposição à vinhaça reduz significativamente a fecundidade e a fertilidade das fêmeas, além de impactar negativamente a longevidade dos machos (Yesilada, 1999).

Esses resultados destacam a importância de se considerar os efeitos subletais de inseticidas e resíduos agrícolas, como a vinhaça, em organismos não-alvo, especialmente em ecossistemas de cana-de-açúcar, onde o uso desses produtos é intensivo. A realização de estudos a campo é essencial para validar os resultados obtidos em condições laboratoriais e compreender como as interações entre inseticidas, vinhaça e predadores ocorrem em condições reais de cultivo. Além disso, futuras pesquisas devem investigar estratégias de manejo que minimizem os impactos negativos sobre inimigos naturais, como a utilização de inseticidas mais seletivos e o uso controlado de vinhaça, visando a preservação de *E. annulipes* e outros predadores-chave para o controle biológico de pragas.

5. Conclusão

Os inseticidas Engeo Pleno® S (tiametoxam + lambda-cialotrina) e Verimark® (ciantraniliprole) promovem maior e mais rápida mortalidade de *S. levis*, enquanto o bioinseticida Boveril® (*B. bassiana*) apresenta efeito progressivo e tardio, compatível com seu modo de ação. A associação desses produtos com vinhaça pode reduzir a eficiência do controle da praga em condições de campo.

Engeo Pleno® S (tiametoxam + lambda-cialotrina) e Verimark® (ciantraniliprole) apresentam elevada toxicidade para ninfas de 5º ínstar de *E. annulipes*.

O inseticida biológico Boveril® (*B. bassiana*) e a vinhaça, isoladamente ou em combinação, não causam mortalidade significativa em ninfas de *E. annulipes*. Contudo, esses tratamentos promovem alterações subletais, como o prolongamento do 5º ínstar ninfal e modificações em parâmetros biológicos importantes, incluindo longevidade, fecundidade e fertilidade.

A associação entre vinhaça e os inseticidas Engeo Pleno® S e Verimark® reduz a toxicidade direta desses compostos, permitindo a sobrevivência e o desenvolvimento das ninfas até a fase adulta. No entanto, essa combinação impacta negativamente no desempenho biológico do predador, o que pode comprometer seu estabelecimento e sua eficiência como agente de controle biológico em sistemas de manejo integrado de pragas na cultura da cana-de-açúcar.

6. Referências

Alves LR, Silva BR, Oliveira GH, Souza MC, Montanari R (2025) Vinasse management in sugarcane production systems: agronomic use and environmental implications. **Sustainability** 17(3):1025.

Arroyo RM, Souza JM, Nunes GS, 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(1):11-22.

Barbosa PRR, Torres JB, Michaud JP, Rodrigues ARS (2017) High concentrations of cloranthraniliprole reduce its compatibility with a key predator, *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae). **Journal of Economic Entomology** 110 (5):2039–2045.

Barros EM, Silva-Torres CSA, Torres JB, Rolim GG (2018) Toxicidade de curto prazo de resíduos de inseticidas para predadores e parasitoides-chave para o manejo de pragas em algodão. **Phytoparasitica** 46:391–404. <https://doi.org/10.1007/s12600-018-0672-8>

Beuzelin JM, Akbar W, Mészáros A, Reay-Jones FPF, Reagan TE (2010) Field assessment of novaluron for sugarcane borer, *Diatraea saccharalis* (F.) (Lepidoptera: Crambidae), management in Louisiana sugarcane. **Crop Protection** 29:1168–1176.

Botelho RG, Tornisiello VL, Olinda RA, Maranhão LA, Machado Neto L (2012) Acute toxicity of sugarcane vinasse to aquatic organisms before and after pH adjustment. **Toxicological e Environmental Chemistry** 94(10):2035-2045.

Brasil (2024) Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Parecer Técnico Final – SEI IBAMA n.º 17732614: avaliação de risco ambiental do ingrediente ativo tiametoxam para insetos polinizadores. Brasília: IBAMA.

Campos MR, Picanço MC, Martins JC, Tomaz AC, Guedes RNC (2011) Insecticide selectivity and behavioral response of the earwig *Doru luteipes*. **Crop Protection** 30(12):1535-1540.

Cana Online (2025) **Como evitar a resistência de pragas na cultura da cana**. Disponível em: <<https://www.canaonline.com.br/conteudo/como-evitar-a-resistencia-de-pragas-na-cultura-da-cana.html>>. Acesso em: 15 fev. 2025.

Casteliani A, Martins LF, Cardoso JFM, Silva MSO, Silva RSA, Chacon-Orozco JG, Casteliani AGB, Půža V, Harakava R, Leite LG (2020) Aspectos comportamentais de *Sphenophorus levis* (Coleoptera: Curculionidae), danos à cana-de-açúcar e sua infecção natural por *Steinernema carpocapsae* (Nematoda: Rhabditidae). **Crop Protection** 137:105262.

Correia JE (2015) **Avaliação da toxicidade da vinhaça tratada quimicamente utilizando *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) como organismo teste**. 91 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Celular e Molecular), Instituto de Biociências/UNESP, Rio Claro, SP.

Silva APM, Bono JAM, Pereira FAR (2021) Aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar: efeitos sobre atributos do solo e produtividade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 25(4):243–250.

Cotta CP, Pinto TJ, Yoshii MPC, Silva LC, Ogura AP, Gabriel GVM, Moreira RA (2023) Exposição a fipronil, 2, 4-D e vinhaça influencia a estrutura da assembleia de macroinvertebrados: uma abordagem experimental de mesocosmo. **Science of The Total Environment** 888:164259.

Dantas FJC (2016) **Seletividade de inseticidas utilizados na cultura do meloeiro sobre lavras de segundo instar de *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae)**. 34 f. Monografia (Graduação em Agronomia), UFERSA, Mossoró, RN.

Desneux N, O'Neil RJ, Yoo HJS (2006) Supressão do crescimento populacional do pulgão da soja, *Aphis glycines* Matsumura, por predadores: a identificação de um predador-chave e os efeitos da dispersão de presas, densidade de predadores e temperatura. **Entomologia Ambiental** 35:1342–1349.

Dinardo-Miranda LL, Anjos IA, Costa VP, Fracasso JV (2012). Resistance of sugarcane cultivars to *Diatraea saccharalis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 47:1-7.

Dinardo-Miranda LL, Fracasso JV (2013) Palha de cana-de-açúcar e as populações de pragas e nematoides. **Scientia Agrícola** 70:305–310. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000500012>

Dinardo-Miranda LL (2018) **Nematoides e pragas da cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico. 444 p.

Elzen GW (2001) Efeitos letais e subletais de resíduos de inseticidas em *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae) e *Geocoris punctipes* (Hemiptera: Lygaeidae). **Journal of Economic Entomology** 94(1):55-59.

Fernández-Grandon GM, Harte SJ, Ewany J, Bray D, Stevenson PC (2020) Additive effect of botanical insecticide and entomopathogenic fungi on pest mortality and the behavioral response of its natural enemy. **Plants** 9(2):1-14. <https://doi.org/10.3390/plants9020173>

Franco AL, Bartz ML, Cherubin MR, Baretta D, Cerri CE, Feigl BJ, Wall DH, Davies CA, Cerri CC (2016) Perda de solo (macro) fauna devido à expansão da área plantada com cana-de-açúcar no Brasil. **Science of the Total Environment** 563:160–168.

Gasch T, Schott M, Wehrenfennig C, Düring RA, Vilcinskis A (2013) Multifunctional weaponry: the chemical defenses of earwigs. **Journal of Insect Physiology** 59:1186-1193. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2013.09.006>

Girón-Pérez K, Nakano O, Silva AC, Oda-Souza M (2009) Attraction of *Sphenophorus levis* Vaurie adults (Coleoptera: Curculionidae) to vegetal tissues at different conservation levels. **Neotropical Entomology** 38(6):842–846.

Herbrandson C, Bradbury SP, Swackhamer DL (2003). Influence of suspended solids on acute toxicity of carbofuran to *Daphnia magna*: I. Interactive effects. **Aquatic Toxicology** 63(4):333-342.

Hughes KA, Lahm GP, Selby T, Stevenson TM (2004) Inseticidas de cianoantranilamida. Patente WO 2004067528. **Chemical Abstract** 141:190786. IRAC (2025) **Comitê de Ação à Resistência a Inseticidas**. Disponível em:<<https://www.irac-br.org/modo-de-acao>>. Acesso em: 4 jan. 2025.

Ko K, Liu Y, Hou M, Babendreier D, Zhang F, Song K (2015) Toxicity of insecticides targeting rice planthoppers to adult and immature stages of *Trichogramma chilonis* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Journal of Economic Entomology** 108:69–76.

Kynetec (2023) Cana-de-açúcar 2022: Com novo avanço de inseticidas e aumento em área tratada, mercado de agroquímicos cresce 33%, para US\$ 1,67 bilhão. Disponível em:<<https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/sucroenergetico/347397-cana-de-acucar-2022-com-novo-avanco-de-inseticidas-e-aumento-em-area>>

tratada-mercado-de-agroquimicos-cresce-33-para-us-1-67-bilhao.html>. Acesso em: 19 fev. 2025.

Lima AGD (2018) **Sublethal effects of pesticides used in melon (*Cucumis melo* L.) on *Chrysoperla genanigra* Freitas (Neuroptera: Chrysopidae)**. 56 f. Monografia (Graduação em Agronomia), UFERSA, Mossoró, RN.

Machado AVA, Potin DM, Torres JB, Torres CSAS (2019) Selective insecticides secure natural enemies action in cotton pest management. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 184:109669.

Magalhães BP, Monnerat R, Alves SB (1998) Entomopatógenos. In: Alves SB (Ed.). **Controle microbiano de insetos**. Piracicaba: FEALQ. p. 207-210.

Martins LF, Tonelli M, Bento JMS, Bueno CJ, Leite LG (2020) Attraction of the sugarcane billbug, *Sphenophorus levis*, to vinasse and its volatile composition. **Chemoecology** 30:205-214.

Mills NJ, Beers EH, Shearer PW, Unruh TR, Amarasekare KG (2016) Comparative analysis of pesticide effects on natural enemies in western orchards: a synthesis of laboratory bioassay data. **Biological Control** 102:17–25.

Moral RA, Demétrio CGB, Hinde J, Godoy WAC, Fernandes FS (2017) Parasitism-mediated prey selectivity in laboratory conditions and implications for biological control. **Basic and Applied Ecology** 19:67-75.

Oliveira CM, Auad AM, Mendes SM, Frizzas MR (2014) Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. **Crop Protection** 56:50-54.

Oliveira QF, Batista JL, Malaquias JB, Carlos HB, Santos EP (2011) Suscetibilidade do predador *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae) aos micoinseticidas. **Revista Colombiana de Entomologia** 37(2):234-237.

Orpet RJ, Goldberger JR, Crowder DW, Jones VP (2019) Field evidence and grower perceptions on the roles of an omnivore, European earwig, in apple orchards. **Biological Control** 132:189-198.

Ortegón GP, Arboleda FM, Candela L, Tamoh K, Valdes-Abellan J (2016) Vinasse application to sugar cane fields. Effect on the unsaturated zone and groundwater at Valle del Cauca (Colombia). **Science of the Total Environment** 539:410-419.

Parra JRP (2019) Controle biológico na agricultura brasileira. **Entomological Communications** 1:ec01002.

Parra JRP, Coelho Júnior A (2022) Insect rearing techniques for biological control programs, a component of sustainable agriculture in Brazil. **Insects** 13:105.

Pedrosa EM, Rolim MM, Albuquerque PH, Cunha AC (2005) Supressividade de nematóides em cana-de-açúcar por adição de vinhaça ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 9:197–201.

Pessoa LGA, Cavalcanti RS, Moino Júnior A, Souza B (2005) Compatibilidade entre *Beauveria bassiana* e o predador *Chrysoperla externa* em laboratório. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 40:617–619. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000600014>

Pinto TJS, Freitas JS, Moreira RA, Silva LCM, Yoshii M PC, Palma LLF, Espindola ELG (2021a) Functional responses of *Hyaella meinerti* after exposure to environmentally realistic concentrations of 2, 4-D, fipronil, and vinasse (individually and in mixture). **Aquatic Toxicology** 231:105712.

Pinto TJS, Moreira RA, Silva LCM, Yoshii MPC, Goulart BV, Fraga PD, Montagner CC, Daan MA, Espindola ELG (2021b) Impact of 2, 4-D and fipronil on the tropical midge *Chironomus sancticarloi* (Diptera: Chironomidae). **Ecotoxicology and Environmental Safety** 209:111778.

Potin DM, Machado AVA, Barbosa PRR, Torres JB (2022) Multiple factors mediate insecticide toxicity to a key predator for cotton insect pest management. **Ecotoxicology** 31(3):490-502. <https://doi.org/10.1007/s10646-022-02526-6>

Precetti AACM, Arrigoni EB (1990) Aspectos bioecológicos e controle do besouro *Sphenophorus levis* (Vaurie, 1978) (Coleoptera, Curculionidae) em cana-de-açúcar. 15 p. (Boletim Técnico Copersucar).

Ramalho FS (1994) Cotton pest management: a Brazilian perspective. **Annual Review of Entomology** 39:563-578.

Redoan AC, Carvalho GA, Cruz I, Figueiredo MLC, Silva RB (2013) Ação de inseticidas usados no controle de *Spodoptera frugiperda* em milho para ninfas de *Doru luteipes* e *Euborellia annulipes*. XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo.

Resende RC, Rodrigues-Silva AL, Pec M, Marucci RC, Chagas PG, Sales FS, Moino JA (2025) *Doru luteipes*: susceptibility to entomopathogenic fungi and the role of maternal care in the protection of offspring against infection. **Journal of Insect Behavior** 38(1):10.

Resende RCD (2022) **Seletividade de *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae* ao predador *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae)**. 59 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia), UFLA, Lavras, MG.

Roubos CR, Rodriguez-Saona C, Holdcraft R, Mason KS, Isaacs R (2014) Toxicidade relativa e atividade residual de inseticidas usados no manejo de pragas de mirtilo: mortalidade de inimigos naturais. **Journal of Economic Entomology** 107(1):277-285.

Roy HE, Brown PMJ, Ware RL, Majerus MPT (2008) Interactions between the fungal pathogen *Beauveria bassiana* and three species of coccinellid: *Harmonia axyridis*, *Coccinella septempunctata* and *Adalia bipunctata*. **BioControl** 53:265–276. <https://doi.org/10.1007/s10526-007-9122-0>

Roy S, Roy MM, Jaiswal AK, Baitha A (2018) Soil arthropods in maintaining soil health: thrust areas for sugarcane production systems. **Sugar Tech** 20:1–16.

Schmidt-Jeffris RA (2023) Nontarget pesticide impacts on pest natural enemies: progress and gaps in current knowledge. **Current Opinion in Insect Science** 58:101056.

Showler AT, Reagan TE (1991) Effects of sugarcane borer, weed, and nematode control strategies in Louisiana sugarcane. **Environmental Entomology** 20:358-370.

Silva MSO, Cardoso JFM, Ferreira MEP, Baldo FB, Silva RSA, Chacon-Orozco JG, Shapiro-Ilan DI, Hazir S, Bueno CJ, Leite LG (2021) An assessment of *Steinernema rarum* as a biocontrol agent in sugarcane with focus on *Sphenophorus levis*, host-finding ability, compatibility with vinasse and field efficacy. **Agriculture** 11(6):500.

Silva AB, Batista JL, Brito CH (2009) Predatory capacity of *Euborellia annulipes* (Lucas, 1847) on *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797). **Acta Scientiarum. Agronomy** 31(1):7-11. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v31i1.6602>

Silva BKA (2015) **Seletividade de inseticidas utilizados na cultura do Melão (*Cucumis melo* L.) sobre larvas de primeiro instar de *Chrysoperla genanigra* Freitas (Neuroptera: Chrysopidae)**. 42 f. Monografia (Graduação em Agronomia), UFERSA, Mossoró, RN.

Silva DD, Mendes SM, Parreira DF, Pacheco RC, Marucci, RC, Cota LV, Figueiredo JEF (2016) Fungivory: a new and complex ecological function of *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae). **Brazilian Journal of Biology** 82:e238763.

Silva MA, et al. (2018) Caracterização físico-química da vinhaça e implicações para aplicação agrícola. **Industrial Crops and Products** 112:345–352.

Silva MSO, Cardoso JFM, Ferreira MEP, Baldo FB, Silva RSA, Chacon-Orozco JG, Shapiro-Ilan DI, Hazir S, Bueno CJ, Leite LG (2021) Uma avaliação de *Steinernema rarum* como um agente de biocontrole em cana-de-açúcar com foco em *Sphenophorus levis*, capacidade de localização de hospedeiros, compatibilidade com vinhaça e eficácia de campo. **Agricultura** 11(6):500. <https://doi.org/10.3390/agriculture11060500>

Skouras PJ, Darras AI, Mprokaki M, Demopoulos V, Margaritopoulos JT, Delis C, Stathas GJ (2021) Toxicity, sublethal and low dose effects of imidacloprid and deltamethrin on the aphidophagous predator *Ceratomegilla undecimnotata* (Coleoptera: Coccinellidae). **Insects** 12:696.

Souza JM, Ferraz VN, Liquita NM, Teixeira RA, Ramalho DG, De Bortoli SA (2024) Seletividade de inseticidas químico, biológico e botânico para *Euborellia annulipes* em laboratório In: Anais do XXIX Congresso Brasileiro de Entomologia e XIII Congresso Latino-Americano. Uberlândia. Disponível em: <<https://www.seb.org.br/cbe>>. Acesso em: 07 fev. 2025.

Stecca CDS, Pasini A, Bueno AF, Denez MD, Silva DD, Mantovani MAM (2014) Insecticide selectivity for *Doru lineare* (Dermaptera: Forficulidae). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo** 13:107–115.

Taguti PS, Ramalho DG, Nascimento VF, Santos LC, Taguti EA, Mihsfeldt LH, De Bortoli SA (2023) Produtos químicos e biológicos utilizados na cana-de-

açúcar e seus efeitos sobre *Trichogramma galloi*. **Entomologia Experimentalis et Applicata** 171(10):732-738.

Todorova SI, Coderre D, Duchesne RM, Côté JC (1998) Compatibility of *Beauveria bassiana* with selected fungicides and herbicides. **Environmental Entomology** 27:427–433. <https://doi.org/10.1093/ee/27.2.427>.

Urbaneja A, Marí FG, Tortosa D, Navarro C, Vanaclocha P, Bargues L, Castañera P (2006) Influence of ground predators on the survival of the Mediterranean fruit fly pupae, *Ceratitis capitata*, in Spanish citrus orchards. **BioControl** 51:611-626.

Yesilada E (1999) Genotoxic activity of vinasse and its effect on fecundity and longevity of *Drosophila melanogaster*. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology** 63:560-566.

CAPÍTULO 3 - Compatibilidade entre *Euborellia annulipes* e nematoides entomopatogênicos para uso no manejo de pragas da cana-de-açúcar

Resumo - A interação entre inimigos naturais é um fator determinante para o sucesso do manejo integrado de pragas (MIP) na cultura da cana-de-açúcar. Neste capítulo, avaliou-se a compatibilidade entre o predador *Euborellia annulipes* e nematoides entomopatogênicos (NEPs), por meio de ensaios de suscetibilidade, comportamento de evitação e atividade dissuasora sobre presas infectadas. Os experimentos foram conduzidos em condições controladas de laboratório, utilizando três espécies de NEPs (*Steinernema rarum*, *Steinernema carpocapsae* e *Heterorhabditis bacteriophora*). A suscetibilidade do predador foi avaliada pela exposição de fêmeas adultas a diferentes doses de juvenis infectantes (2.000, 4.000 e 6.000 JIs), com monitoramento da sobrevivência ao longo de 15 dias. O comportamento de evitação foi analisado por testes de escolha de abrigo contendo ou não nematoides. A atividade dissuasora foi avaliada por bioensaios de predação, com e sem chance de escolha, utilizando lagartas de *Diatraea saccharalis* infectadas por NEPs ou mortas por congelamento. Os resultados demonstraram que *E. annulipes* apresentou sobrevivência nas doses de 2.000 e 4.000 JIs, independentemente da espécie de nematoide. Na maior dose avaliada (6.000 JIs), *S. carpocapsae* e *S. rarum* reduziram a sobrevivência do predador, enquanto *H. bacteriophora* não diferiu do controle, evidenciando maior seletividade. Nos testes comportamentais, o predador apresentou capacidade de detectar e evitar abrigos associados à presença de nematoides. Nos ensaios de predação, lagartas infectadas por NEPs foram significativamente menos consumidas em comparação às não infectadas, tanto nos testes com chance de escolha quanto sem chance, indicando a presença de atividade dissuasora associada à infecção. De forma geral, os resultados indicam que a interação entre *E. annulipes* e os nematoides entomopatogênicos utilizados é predominantemente compatível, especialmente para *H. bacteriophora*.

Palavras-chave: controle biológico, tesourinha, inimigos naturais, comportamento de evitação, manejo integrado de pragas, seletividade ecológica

Abstract - The interaction among natural enemies is a key factor for the success of integrated pest management (IPM) in sugarcane cropping systems. In this chapter, the compatibility between the predator *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae) and entomopathogenic nematodes (EPNs) was evaluated through susceptibility assays, avoidance behavior, and deterrent activity toward infected prey. Experiments were conducted under controlled laboratory conditions using three EPN species (*Steinernema rorum*, *Steinernema carpocapsae*, and *Heterorhabditis bacteriophora*). Predator susceptibility was assessed by exposing adult females to different doses of infective juveniles (2,000; 4,000; and 6,000 IJs), with survival monitored for 15 days. Avoidance behavior was evaluated using shelter choice tests with and without nematodes. Deterrent activity was assessed through predation bioassays with and without choice, using *Diatraea saccharalis* larvae infected with EPNs or killed by freezing. The results showed that *E. annulipes* exhibited high survival at doses of 2,000 and 4,000 IJs, regardless of nematode species. At the highest dose tested (6,000 IJs), *S. carpocapsae* and *S. rorum* significantly reduced predator survival, whereas *H. bacteriophora* did not differ from the control, indicating greater selectivity. In behavioral assays, the predator demonstrated the ability to detect and avoid shelters associated with the presence of nematodes. In predation assays, larvae infected with EPNs were significantly less consumed than non-infected larvae, both in choice and no-choice tests, indicating the presence of deterrent activity associated with infection. Overall, the results indicate that the interaction between *E. annulipes* and entomopathogenic nematodes is predominantly compatible, particularly for *H. bacteriophora*.

Keywords: biological control, earwig, natural enemies avoidance behavior, integrated pest management, ecological selectivity

1. Introdução

A tesourinha-de-pernas-aneladas, *Euborellia annulipes* (Lucas, 1847) (Dermaptera: Anisolabididae), tem sido relatada em plantações de cana-de-açúcar como um importante predador de pragas (Beuzelin et al., 2010; Franco et al., 2016; Santos et al., 2017; Roy et al., 2018).

Este dermáptero está associado à predação de *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) em diferentes regiões do mundo, e sua ocorrência é favorecida em áreas de cultivo sem queima e com menor uso do controle químico (Roy et al., 2018; De Souza et al., 2022; Arroyo et al., 2023). Além disso, o hábito de *E. annulipes* em forragear ambientes escuros e úmidos, somado à sua ocorrência no solo de canaviais, favorece a interação com algumas pragas de solo como *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera: Curculionidae), reforçando sua importância como agente natural de controle no manejo integrado de pragas da cultura (Guimarães et al., 1992; Ramalho e Wanderley, 1996; Silva et al., 2009a, 2009b; Costa et al., 2010; Campos et al., 2011).

Nematoides entomopatogênicos (NEPs) dos gêneros *Heterorhabditis* e *Steinernema* (Nematoda: Heterorhabditidae, Steinernematidae) são parasitas obrigatórios de um grande número de espécies de insetos (Kaya e Gaugler, 1993), apresentando elevado potencial como agentes de controle biológico (Abd-Elgawad, 2025; Grewal et al., 2005; Parveen, 2025). Esses NEPs têm se destacado no manejo de pragas da cana-de-açúcar, incluindo no controle de curculionídeos do gênero *Sphenophorus* em diferentes regiões do mundo, como nos Estados Unidos da América e Japão (Georgis e Poinar Jr., 1989; Klein, 1990; Watschke et al., 2013). No Brasil, *Steinernema rarum* (Doucet, 1986) (Nematoda: Steinernematidae) demonstrou alta eficácia contra *S. levis*, considerada a principal praga de solo da cultura (Silva et al., 2021), como *D. saccharalis* tem apresentado alta suscetibilidade a isolados de *Heterorhabditis* e *Steinernema*, com mortalidades larvais de até 100% em 48 h, em condições laboratoriais e de casa de vegetação (Silva et al., 2024).

Nos canaviais diferentes agentes de controle biológico podem atuar de forma simultânea, seja pela aplicação de controle biológico inundativo ou pela presença natural desses organismos benéficos. Avaliar a compatibilidade entre

esses inimigos naturais é fundamental para evitar efeitos adversos especialmente sobre os organismos não alvos. Os NEPs, comuns em programas Manejo Integrado de Pragas (MIP), podem interagir com artrópodes não alvos e parasitar hospedeiros alternativos, permitindo suas persistências e reciclagem no ambiente (Kaya, 1990; Georgis et al., 1991; Parkman e Smart, 1996; Hodson et al., 2011).

Alguns efeitos negativos de NEPs para os inimigos naturais foram observados por alguns autores, com Powell e Webster (2004) mostrando que aplicações de *S. carpocapsae* resultaram em mortalidade significativa do predador de pulgões *Aphidoletes aphidimyza* Rondani, 1847 (Diptera: Cecidomyiidae). Já Lordan et al. (2015) demonstraram que *Steinernema carpocapsae* (Weiser, 1955) (Nematoda: Steinernematidae) foi capaz de causar mortalidade em *Forficula auricularia* (L., 1758) (Dermaptera: Forficulidae), porém com os Dermaptera tendo a capacidade de detectar e evitar locais tratados com esse nematoide (Lordan et al., 2014).

Insetos alvos e não alvos desenvolveram mecanismos comportamentais, morfológicos e fisiológicos, para evitar a infecção por nematoides entomopatogênicos (Sicard et al., 2004; Sandhi e Reddy, 2019). As principais defesas iniciais são comportamentais, como a evasão de áreas contaminadas e a limpeza da cutícula com a remoção de nematoides aderidos (Gaugler et al., 1994; Ennis et al., 2010; Vincent e Bertram, 2010; Lordan et al., 2015; Sandhi e Reddy, 2019). Barreiras morfológicas da cutícula e dos orifícios corporais podem limitar a penetração dos nematoides (Ishibashi e Kondo, 1990) e, quando estes alcançam a hemolinfa, respostas do sistema imunológico do inseto podem impedir o estabelecimento da infecção (Castillo et al., 2011).

Considerando que a interação entre nematoides entomopatogênicos (NEPs) e predadores pode exercer papel relevante em programas de MIP na cultura da cana-de-açúcar, este estudo teve como objetivo geral avaliar a compatibilidade entre *E. annulipes* e diferentes espécies de NEPs. Os objetivos específicos foram: (i) avaliar a suscetibilidade do predador a três espécies de NEPs (*S. rarum*, *S. carpocapsae* e *H. bacteriophora* Poinar, 1976 (Nematoda: Heterorhabditidae); (ii) testar a hipótese de que o predador é capaz de detectar e evitar abrigos tratados com os NEPs; e (iii) verificar a existência de atividade

dissuasora que reduza o forrageamento de *E. annulipes* em lagartas de *D. saccharalis* mortas e infectadas por nematoides.

2. Material e métodos

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Biologia e Criação de Insetos (LBCI) do Departamento de Fitossanidade, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Jaboticabal, São Paulo, Brasil, em condições controladas de temperatura (25 ± 2 °C), umidade relativa de ($70 \pm 10\%$) e fotoperíodo de (12L:12E).

2.1. Obtenção do predador e dos NEPs

Euborellia annulipes utilizada nos bioensaios foram provenientes da criação estabelecida no LBCI. Os insetos foram alimentados “ad libitum” com dieta artificial descrita por Silva et al. (2009) e mantidos em colônias nas condições ambientais controladas descritas anteriormente. Foram selecionadas fêmeas adultas com 24 a 48 horas após a última ecdise para os bioensaios.

Três espécies de nematoides entomopatogênicos foram utilizadas no presente estudo, sendo elas: *H. bacteriophora* (linhagem HBEN01); *S. rorum* (Pam 25 - isolado de amostras de solo do bioma Pampa) ($31^{\circ}42'1,5''$ S; $54^{\circ}14'9,8''$ W), localizado em Aceguá, RS, Brasil, ambos provenientes do Instituto Biológico de Campinas (IB/APTA); e *S. carpocapsae*, adquirido comercialmente da Koppert Biological Systems. Os nematoides foram multiplicados a 25 °C em lagartas de 4º ínstar de *D. saccharalis*, de acordo com a metodologia descrita por Woodring e Kaya (1998). Os juvenis infectantes (JIs) emergidos dos cadáveres foram recuperados utilizando armadilhas de White (Kaya e Stock, 1997) e mantidos em água de osmose reversa por no máximo duas semanas antes dos experimentos. A viabilidade dos JIs foi avaliada por meio da observação de seus movimentos em microscópio estereoscópico antes da aplicação.

2.2. Suscetibilidade aos NEPs

Para avaliar a compatibilidade entre *E. annulipes* e os NEPs foi conduzido um bioensaio de suscetibilidade utilizando as três espécies de nematoides (*H. bacteriophora*, *S. rarum* e *S. carpocapsae*). Cada fêmea adulta foi individualizada em placa de Petri (60,0 mm de diâmetro × 15,0 mm de altura), cujas bases foram forradas com dois discos de papel-filtro Whatman® Grade 1 (60,0 mm de diâmetro) previamente umedecidos com 1 mL de água de osmose reversa estéril, garantindo um microambiente úmido adequado à sobrevivência e mobilidade dos nematoides e do predador.

Sobre o papel-filtro umedecido foram aplicadas três concentrações de juvenis infectantes (JIs) dos nematoides (2.000, 4.000 e 6.000) por placa, utilizando-se de pipeta volumétrica esterilizada. Para cada concentração e espécie de nematoide foram utilizadas 15 fêmeas adultas, totalizando 135 unidades experimentais (3 espécies × 3 concentrações × 15 repetições). As placas foram vedadas com Parafilm® e mantidas em B.O.D. a 23 ± 2 °C, no escuro, de modo a reduzir o estresse e a interferência luminosa sobre a atividade dos nematoides e do predador. As observações de mortalidade foram realizadas a cada 12 h durante os primeiros 4 dias e, posteriormente, a cada 24 h, até completar o período experimental de 15 dias.

Como a morte causada por nematoides pode ocorrer de forma retardada, as tesourinhas mortas foram mantidas por 24 h após o óbito antes da dissecação em estereomicroscópio. Apenas os indivíduos nos quais foram observados nematoides em seu interior foram considerados mortos em decorrência da infecção. A metodologia de exposição e confirmação da infecção baseou-se em adaptações dos procedimentos descritos por Kaya e Stock (1997) e Woodring e Kaya (1998).

2.3. Comportamento de evitação

O comportamento de evitação de *E. annulipes* frente à presença de nematoides entomopatogênicos foi avaliado utilizando *S. carpocapsae*, espécie que se mostrou virulenta no bioensaio de suscetibilidade. Os bioensaios foram conduzidos em placas de acrílico com 16,0 cm de diâmetro e 9,5 cm de altura,

às quais foram colocados dois abrigos de fundo de tubo Eppendorf cortado e enrolado em papel kraft e uma fêmea adulta, por unidade experimental. Os abrigos foram confeccionados manualmente a partir de tubos de Eppendorf cortados à altura de 0,5 mL, e papel kraft (9,0 cm x 9,4 cm) para obtenção de cilindros (4,0 cm de altura x 1,5 cm de diâmetro), sendo o papel kraft enrolado e colado ao tubo de Eppendorf utilizando cola quente (Figura 1).

Os abrigos tratados com nematoides (N) foram primeiramente submersos por 5 segundos soluções com água de osmose reversa e, em seguida, foi pipetado no interior de cada abrigo 1,0 mL de solução de *S. carpocapsae*, contendo aproximadamente 4000 JI/mL. Esse método foi adotado por garantir condições adequadas de umidade para a sobrevivência dos NEPs. Já os abrigos controle (C) foram submersos em água de osmose reversa. Para cada placa de Petri foi adicionada uma fêmea adulta, um abrigo (denominado A1) e 2g de dieta. Duas horas depois, quando o inseto já estava no primeiro abrigo, um segundo (denominado A2), também contendo dieta, foi adicionado à placa de Petri (Figura 2).

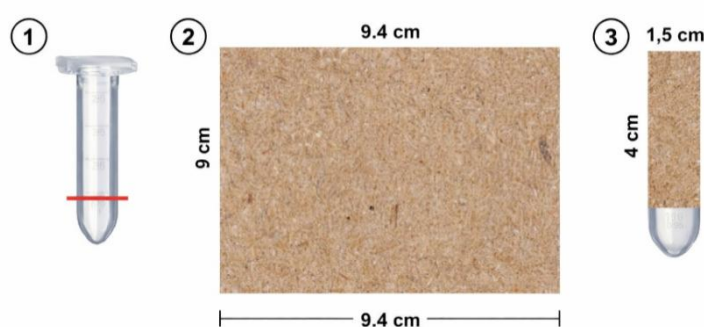


Figura 1 - Passo a passo da confecção dos abrigos (Esquema de metodologia: Souza, 2025).

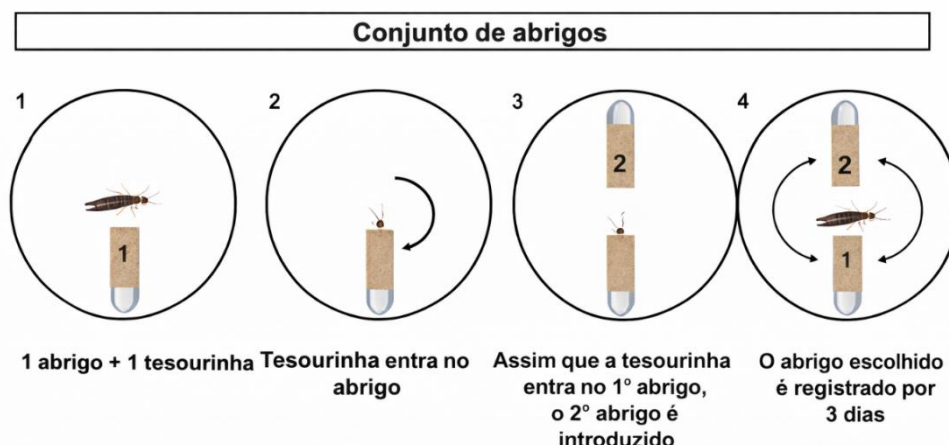


Figura 2 - Esquema da metodologia dos conjuntos dos abrigos. Cada tratamento (C-C; NC e C-N) possuía 10 conjuntos de abrigos. (Esquema de metodologia: Souza, 2025).

Três experimentos distintos foram conduzidos: (I) experimento C-C (controle – controle), onde ambos os abrigos (A1 e A2) foram submersos em água de osmose reversa, para assim permitir a observação do comportamento exploratório ou da fidelidade ao primeiro abrigo; (II) experimento N-C (NEPs – controle), onde o primeiro abrigo A1) introduzido era contendo nematoides e o segundo (A2) apenas submerso em água de osmose reversa; (III) experimento C-N (controle – NEP's) que consistia inicialmente em um abrigo apenas submerso em água de osmose reversa, seguido pelo abrigo com nematoides.

Ao final de cada dia, durante três dias consecutivos, registrou-se qual abrigo cada tesourinha escolheu, contabilizando 24 horas, 48 horas e 72 horas cada registro. Nos testes, cada vez que uma tesourinha era encontrada em um abrigo era contabilizada como uma unidade de tempo, que foi utilizada para calcular o tempo de exposição proporcional. No terceiro dia os abrigos foram removidos e as tesourinhas foram mantidas individualmente em placas de Petri (5,0 cm de diâmetro) forradas com papel toalha umedecido com água de osmose reversa. O bioensaio foi mantido em uma câmara climática a 25 °C no escuro por mais 2 semanas, com o objetivo de avaliar a mortalidade causada pelos nematoides.

2.4. Atividade dissuasora

O comportamento necrófago das tesourinhas foi avaliado utilizando lagartas de quarto ínstar de *D. saccharalis* previamente infectadas pelas três espécies de nematoides. Cada lagarta foi exposta individualmente à suspensão de nematoides contendo aproximadamente 4.000 juvenis infectantes (JIs), aplicados em 2,0 mL de suspensão por inseto. As lagartas foram colocadas em placas de Petri (16,0 cm de diâmetro) contendo papel-filtro Whatman® Grade 1 e vedadas com Parafilm® visando manter a umidade e mantidas em B.O.D. a 25 ± 3 °C, no escuro, até a morte das lagartas. Após a mortalidade, os cadáveres foram mantidos nas mesmas condições por três dias, garantindo o desenvolvimento de bactérias simbiotes e impedindo a emergência precoce de novos JIs. Em seguida, os cadáveres infectados foram utilizados nos testes de forrageamento necrófago, utilizando-se como controle lagartas de *D. saccharalis* mortas por congelamento.

Foram realizados testes com e sem chance de escolha para comparar o consumo de presas infectadas por nematoides com o de presas não infectadas (mortas por congelamento). Nos testes com chance de escolha, os predadores — previamente privados de alimento por 48 horas — foram liberados no centro de arenas circulares de acrílico (16,0 cm de diâmetro x 9,5 cm de altura), divididas por uma barreira central em duas áreas semelhantes, tendo no centro da arena um círculo para a liberação do predador. Em cada arena foi introduzido uma tesourinha e 20 presas (*D. saccharalis* mortas), sendo 10 lagartas infectadas por nematoides e 10 lagartas mortas por congelamento. Já nos testes sem chance de escolha, cada arena (placa de acrílico com as mesmas dimensões, porém sem divisão interna) recebeu 10 lagartas infectadas por nematoides ou 10 lagartas mortas por congelamento, liberadas aleatoriamente nas placas. As arenas foram mantidas em câmara tipo B.O.D. a 25 ± 3 °C e no escuro, sendo o número de presas consumidas avaliado 24 horas após a liberação dos predadores, estimando-se, assim, o percentual médio de consumo em cada tratamento. Foram realizadas 10 repetições para cada espécie de nematoide nas condições com e sem chance de escolha para avaliar a taxa de predação.

2.5. Análise Estatística

A sobrevivência de *E. annulipes* nos bioensaios de suscetibilidade aos NEPs foi comparada entre espécies e doses por meio do teste do qui-quadrado (χ^2), considerando como mortalidade apenas os indivíduos nos quais foram observados juvenis infectantes no interior do corpo. O comportamento de evitação foi avaliado pela distribuição percentual de indivíduos por abrigo, analisada pelo teste do qui-quadrado utilizando o procedimento PROC FREQ, ao longo de 24, 48 e 72 horas. A atividade dissuasora foi analisada com base na porcentagem de consumo de lagartas de *D. saccharalis* infectadas ou não por nematoides, nos testes com e sem chance de escolha, também por meio do teste do qui-quadrado (PROC FREQ). Em todas as análises adotou-se o nível de significância de 5%, utilizando o software SAS® (versão 2022).

3. Resultados

3.1. Suscetibilidade de *Euborellia annulipes* aos Neps

A sobrevivência de *E. annulipes* variou em função da espécie de nematoide entomopatogênico e da dose avaliada. Na dose de 2.000 juvenis infectantes (JIs) não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos, com sobrevivência de 100,0% em todos os grupos avaliados, incluindo o controle ($\chi^2 = 0$; $P = 1,000$). De forma semelhante, na dose de 4.000 JIs, a sobrevivência manteve-se elevada, variando de 86,66% a 100%, não havendo diferença estatística entre os tratamentos ($\chi^2 = 3,795$; $P = 0,0169$) (Tabela1).

Entretanto, na maior dose testada (6.000 JIs) foram observadas diferenças significativas na sobrevivência de *E. annulipes* entre os tratamentos ($\chi^2 = 10,211$; $P = 0,0169$). Os tratamentos com *S. rorum* e *S. carpocapsae* resultaram em redução significativa da sobrevivência, com valores médios de 80,00% e 66,66%, respectivamente. Por outro lado, quando foi utilizado *H. bacteriophora* não ocorreu diferença em relação ao controle, com sobrevivência de 100%. Esses resultados indicam que *H. bacteriophora* mostrou-se seletivo a *E. annulipes* mesmo na maior dose avaliada, enquanto *S. rorum* e,

principalmente, *S. carpocapsae* apresentaram impacto negativo na sobrevivência do predador (Tabela 1).

Tabela 1: Percentual de sobrevivência (média $\pm$ erro-padrão) de fêmeas de *Euborellia annulipes* após 15 dias de exposição a diferentes doses de espécies de nematoides entomopatogênicos (NEPs).

Tratamentos	Doses		
	2.000 (JIs)	4.000 (JIs)	6.000 (JIs)
Controle	¹ 100,00 $\pm$ 0,0 a	100,00 $\pm$ 0,0 a	100,00 $\pm$ 0,0 a
<i>Steinernema rarum</i>	100,00 $\pm$ 0,0 a	93,33 $\pm$ 6,66 a	80,00 $\pm$ 10,69 b
<i>S. carpocapsae</i>	100,00 $\pm$ 0,0 a	86,66 $\pm$ 9,08 b	66,66 $\pm$ 12,59 b
<i>Heterorhabditis bacteriophora</i>	100,00 $\pm$ 0,0 a	100,00 $\pm$ 0,0 a	100,00 $\pm$ 0,0 a
χ^2	0	3,795	10,21
<i>P</i>	= 1,000	= 0,0169	<0,0001

¹Médias $\pm$ EP seguidas por letras diferentes na coluna indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Kruskal-Wallis, comparação pareada pelo teste de Wilcoxon ($P < 0,05$).

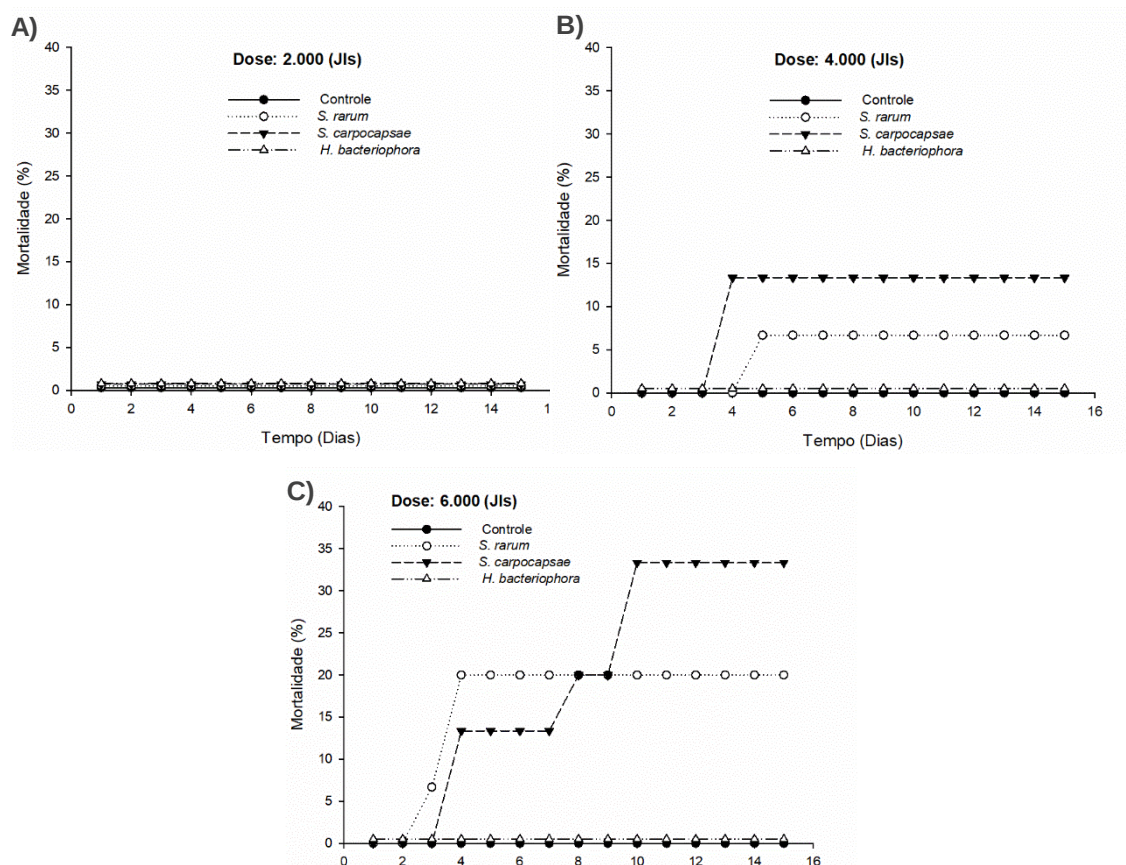


Figura 3 - Mortalidade acumulada (%) de *Euborellia annulipes* ao longo do tempo (dias) após a exposição a nematoides entomopatogênicos em diferentes doses de juvenis infectantes (JIs). (A) 2.000 JIs; (B) 4.000 JIs; e (C) 6.000 JIs. Os tratamentos avaliados foram *Steinernema rarum*, *S. carpocapsae*, *Heterorhabditis bacteriophora* e o controle. A mortalidade atribuída aos nematoides entomopatogênicos foi considerada apenas quando juvenis infectantes foram observados no interior dos predadores.

A mortalidade de *E. annulipes* ao longo do tempo variou conforme a dose de juvenis infectantes (JIs) e a espécie de nematoide (Figura 3). Na dose de 2.000 JIs não foi registrada mortalidade em nenhum dos dias avaliados, independentemente do tratamento. Com 4.000 JIs, a mortalidade associada a *H. bacteriophora* iniciou no 4º dia após a exposição, mantendo-se estável nos dias subsequentes. *S. carpocapsae* provocou mortalidade tardia e de baixa intensidade, observada apenas após o 5º dia.

Na dose de 6.000 JIs a mortalidade causada por *H. bacteriophora* iniciou no 3º dia, com incremento progressivo ao longo do tempo. Para *S. carpocapsae* a mortalidade iniciou entre o 4º e o 5º dia, com aumento gradual até os últimos

dias de avaliação, permanecendo semelhante ao controle em todos os dias avaliados.

3.2. Comportamento de evitação

Nos testes com chance de escolha do abrigo, a distribuição percentual de *E. annulipes* diferiu entre os tratamentos apenas nas comparações entre presas infectadas por NEPs e controle (N x C). Após 24 horas, foi observada diferença significativa na proporção de indivíduos por abrigo ($\chi^2 = 6,000$; $P = 0,0143$), indicando alteração no comportamento por abrigo em resposta à presença de presas infectadas. Resultado semelhante foi registrado após 48 horas, com diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos ($\chi^2 = 0,514$; $P = 0,0254$) (Figura 4).

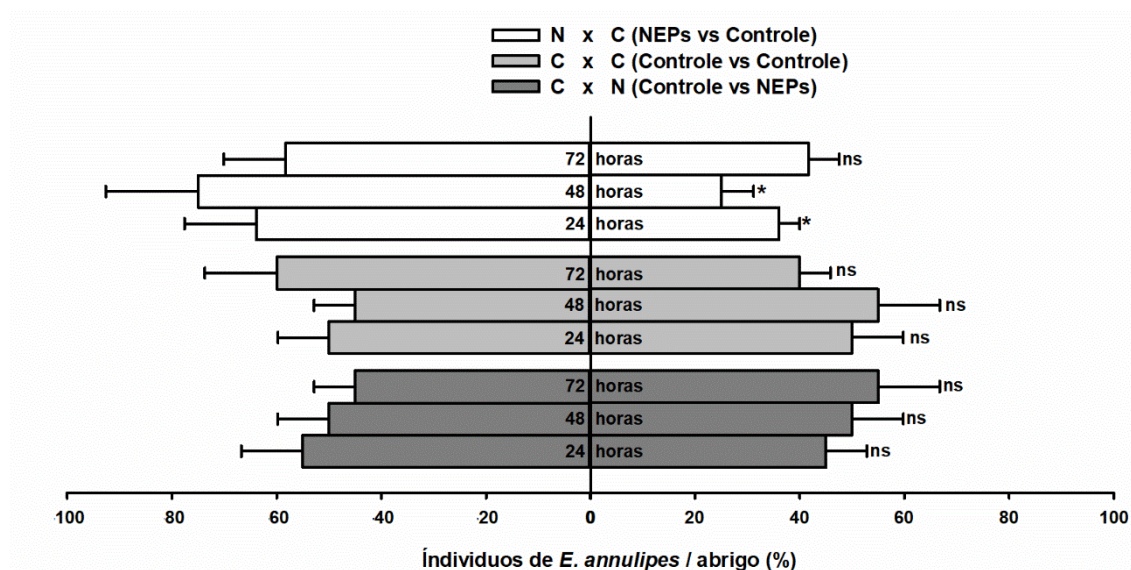


Figura 4 - Porcentagem de indivíduos de *Euborellia annulipes* por abrigo (%) em testes comparando presas infectadas por nematoides entomopatogênicos (NEPs) e controle, avaliados após 24, 48 e 72 horas.

As comparações entre tratamentos foram realizadas pelo teste do qui-quadrado utilizando o procedimento PROC FREQ do SAS. Diferenças estatísticas são indicadas por asterisco (*, $p < 0,05$), enquanto ns indica ausência de diferença significativa ($P \geq 0,05$).

No ensaio com dois abrigos controle, ambos sem a presença de NEPs (C x C), foi constatada uma distribuição semelhante de tesourinhas entre os abrigos

ao longo de todo o período de avaliação (Figura 4). Após 24 horas, a proporção de indivíduos foi equivalente entre os abrigos (50,0% /50,0%), indicando comportamento exploratório. Em 48 horas manteve-se uma distribuição próxima à equitativa (55,0% /45,0%), igualmente sugerindo atividade exploratória. Ao final de 72 horas, embora tenha ocorrido leve variação na ocupação dos abrigos (40,0% /60,0%), estatisticamente não foi constatado preferência por nenhum dos abrigos.

No ensaio em que o abrigo controle foi disponibilizado inicialmente, seguido pela introdução posterior do abrigo tratado com nematoides entomopatogênicos (C x N), observou-se variação na distribuição das tesourinhas ao longo do período experimental. Após 24 horas, 45,0% dos indivíduos foram registrados no abrigo controle e 55% no abrigo tratado com nematoides. Em 48 horas, a distribuição foi equivalente entre os abrigos (50,0% /50,0%), não indicando preferência. Ao final de 72 horas verificou-se maior proporção de indivíduos no abrigo controle (55,0%) em comparação ao abrigo tratado (45,0%). Entretanto, não houve diferença estatisticamente em nenhum dos horários observados.

3.3. Atividade dissuasora

O consumo de lagartas de *D. saccharalis* por fêmeas de *E. annulipes* foi influenciado pela condição de infecção das presas por nematoides entomopatogênicos, bem como pelos testes com e sem chance de escolha (Figura 5).

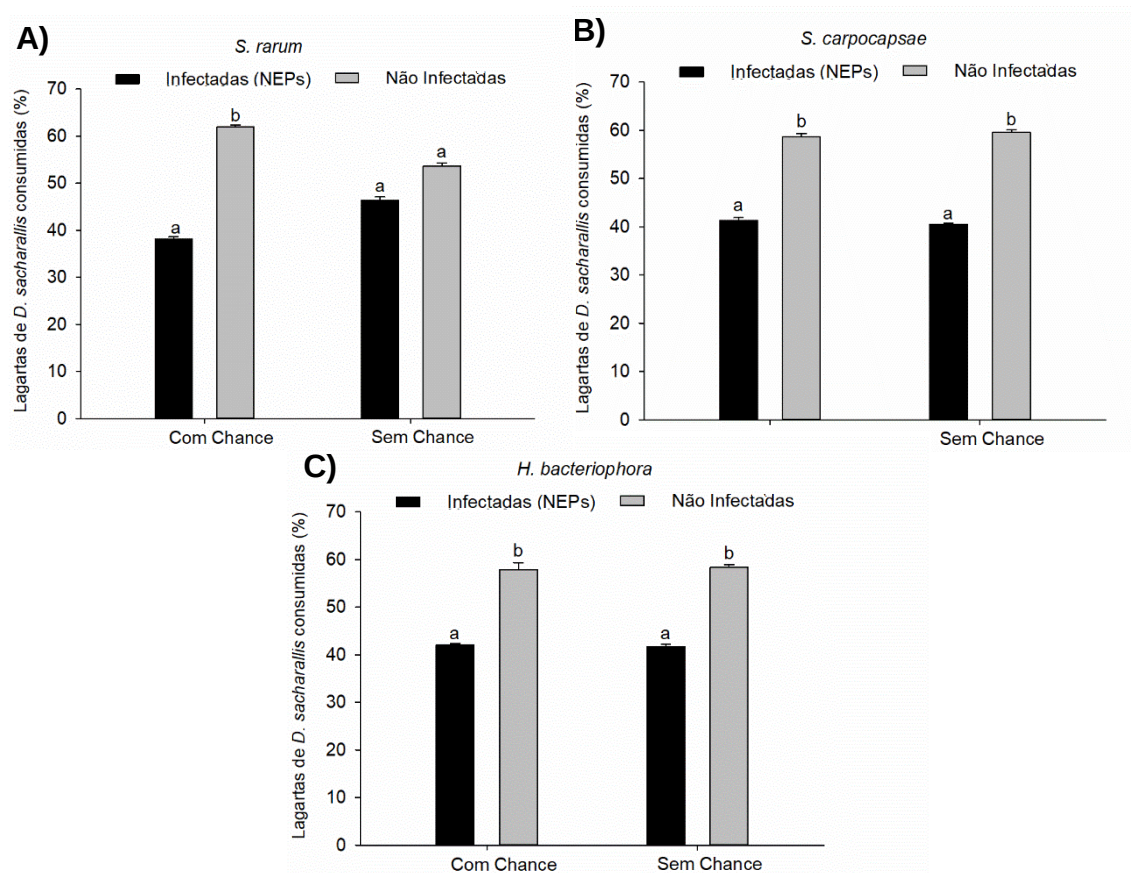


Figura 5: Consumo (%) de presas por fêmeas de *Euborellia annulipes* em bioensaios com e sem chance de escolha, utilizando lagartas de *Diatraea saccharalis* infectadas ou não por nematoides entomopatogênicos. (A) *Steinernema rarum*, (B) *S. carpocapsae* e (C) *Heterorhabditis bacteriophora*. Média $\pm$ erro-padrão; letras diferentes indicam diferença significativa (teste do qui quadrado; ($P < 0,05$) - Proc Freq, SAS, 2022).

No bioensaio com *S. rarum* (Figura 5A), observou-se que no teste com chance de escolha as fêmeas consumiram maior porcentagem de lagartas não infectadas (61,90%) em comparação às lagartas infectadas (38,10%), diferença esta estatisticamente significativa ($\chi^2 = 10,096$; $P = 0,0015$). No ensaio sem chance de escolha, embora as porcentagens de consumo de lagartas infectadas (46,33%) e não infectadas (53,67%) tenham diferido numericamente, essa diferença não foi estatisticamente significativa entre os tratamentos ($\chi^2 = 1,622$; $P = 0,2028$).

Para *S. carpocapsae* (Figura 5B), no teste com chance de escolha o consumo de lagartas não infectadas (59,55%) foi significativamente superior ao

de lagartas infectadas (41,32%) ($\chi^2 = 5,909$; $P = 0,0151$). De forma semelhante, no teste sem chance de escolha, as fêmeas de *E. annulipes* apresentaram maior consumo de lagartas não infectadas (59,55%) em relação às infectadas (40,45%), com diferença estatística significativa ($\chi^2 = 8,321$, $P = 0,0039$).

Resultados semelhantes foram observados para *H. bacteriophora* (Figura 5C). No ensaio com chance de escolha, o consumo de lagartas não infectadas (57,91%) foi significativamente maior do que o de lagartas infectadas (42,09%) ($\chi^2 = 4,057$; $P = 0,0440$). Já no teste sem chance de escolha, embora o consumo de lagartas infectadas (41,67%) tenha se mantido, o consumo de lagartas não infectadas (58,33%) permaneceu superior, com diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos ($\chi^2 = 7,028$, $P = 0,0080$).

De modo geral, independentemente da espécie de nematoide avaliada, fêmeas de *E. annulipes* apresentaram maior consumo de lagartas não infectadas, nos testes com e sem chance de escolha, indicando que a infecção por nematoides entomopatogênicos pode reduzir a atratividade ou a aceitação das presas pelo predador.

4. Discussão

Os resultados indicam que a suscetibilidade de *E. annulipes* aos nematoides entomopatogênicos foi dependente da espécie e da dose de juvenis infectantes (JIs), evidenciando seletividade. Nas doses de 2.000 e 4.000 JIs, a sobrevivência do predador foi elevada e semelhante ao controle, indicando baixa patogenicidade. Esses resultados sugerem que em doses compatíveis com o uso agrícola, os NEPs apresentam baixo risco direto a *E. annulipes*, especialmente quando consideradas as condições de campo, nas quais a dispersão no solo e fatores abióticos reduzem a exposição de organismos não-alvo (Kaya e Gaugler, 1993; Ehlers, 2001; Gaugler, 2002; Lacey et al., 2015; Devi, 2022; Moore e Opoku-Debrah, 2025).

Na maior dose avaliada, 6.000 JIs, observou-se redução da sobrevivência de *E. annulipes* quando exposto a *S. carpocapsae* e *S. rarum*, enquanto com *H. bacteriophora* a sobrevivência foi semelhante ao controle. Estudos relatam maior patogenicidade de *S. carpocapsae* para dermápteros, em condições de laboratório (Kaya e Gaugler, 1993; Gaugler, 2002; Lordan et al., 2014). Resultados semelhantes foram descritos para *F. auricularia*, onde mortalidade significativa ocorreu com doses elevadas (10^4 a 10^5 juvenis infectantes por inseto), enquanto *H. bacteriophora* tende a apresentar impacto reduzido ou nulo, evidenciando que os efeitos sobre dermápteros normalmente são mesmo dependentes da espécie do nematoide e da dose aplicada (Kaya e Gaugler, 1993; Ehlers, 2001; Glazer, 2002; Lordan et al., 2014).

A maior patogenicidade de *S. carpocapsae* está associada à sua estratégia de forrageamento que é do tipo “ambusher”, caracterizada por comportamento como a nictação, que aumentam o contato com hospedeiros móveis e superficiais no solo (Campbell e Gaugler, 1993; Kaya e Gaugler, 1993). Também está associada à elevada virulência de sua bactéria simbiote, *Xenorhabdus nematophila* (Enterobacterales: Morganellaceae), que contribui para a rápida infecção e mortalidade dos hospedeiros, aumentando a eficácia desse nematoide em comparação a espécies com estratégias distintas de busca (Cao e Goodrich-Blair, 2020). Resultados semelhantes foram observados para outros inimigos naturais, nos quais *H. bacteriophora* apresentou maior seletividade fisiológica e ecológica (Georgis et al., 1991; Kaya e Gaugler, 1993).

As variações na mortalidade de tesourinhas podem ser atribuídas tanto às diferenças de patogenicidade entre espécies e cepas de nematoides entomopatogênicos, quanto às condições experimentais adotadas. Substratos arenosos tendem a favorecer a infecção em relação ao papel-filtro, por manterem maior umidade, permitirem maior mobilidade dos juvenis infectantes e aumentarem o contato com o hospedeiro (Kaya e Gaugler, 1993; Ehlers, 2001; Shapiro-Ilan et al., 2017). Além disso, estudos indicam que a mortalidade de organismos não-alvo ocorre predominantemente nos primeiros dias após a aplicação, sendo posteriormente reduzida em função de limitação comportamental e fisiológica do hospedeiro, bem como da própria dinâmica dos NEPs no ambiente, o que tende a ser ainda mais atenuado em condições próximas às de campo (Hodson et al., 2011; Lacey et al., 2015; Devi, 2022).

Os resultados dos testes comportamentais indicam que *E. annulipes* apresenta resposta de evitação associada à presença de presas infectadas por nematoides entomopatogênicos, evidenciada pelas diferenças significativas na distribuição dos indivíduos entre os abrigos nas comparações entre tratamentos com NEPs e controle, após 24 e 48 horas.

A ausência de diferenças no ensaio controle (C × C) confirma que a distribuição equitativa observada ao longo do período experimental reflete um comportamento exploratório natural da espécie, descartando efeitos de viés experimental. Esse padrão sugere que *E. annulipes* é capaz de detectar, direta ou indiretamente, sinais associados à presença de NEPs, ajustando seu comportamento de abrigo de forma a reduzir o risco de exposição.

A evitação de ambientes associados a nematoides entomopatogênicos já foi descrita para diferentes grupos de insetos e é considerada um importante mecanismo de defesa comportamental contra infecção. Estudos com *F. auricularia* demonstraram que a espécie evita abrigos tratados com *S. carpocapsae*, reduzindo significativamente o tempo de exposição aos juvenis infectantes e, conseqüentemente, a mortalidade (Lordan et al., 2014). Comportamentos semelhantes de evasão e redução de contato com áreas contaminadas por NEPs foram relatados para outros insetos, como em espécies de besouros, baratas e gorgulhos, sendo interpretados como estratégias adaptativas que limitam a infecção por nematoides (Gaugler et al., 1994; Ennis et al., 2010).

Em relação ao teste da atividade dissuasora, os resultados indicam que a infecção de lagartas de *D. saccharalis* por nematoides entomopatogênicos reduz o consumo dessas presas por fêmeas de *E. annulipes*, nos ensaios com e sem chance de escolha, evidenciando o efeito dissuasor associado à infecção. A preferência consistente por lagartas não infectadas sugere que o predador é capaz de detectar alterações nas presas infectadas, possivelmente relacionadas a mudanças químicas, fisiológicas ou microbianas decorrentes da ação dos nematoides e de suas bactérias simbiotes.

A redução do consumo de presas infectadas por NEPs já foi descrita para outros predadores e pode ser atribuída à presença de fatores dissuasores produzidos pelas bactérias simbiotes dos nematoides, como *Xenorhabdus* spp. e *Photorhabdus* spp., que liberam metabólitos responsáveis por repelência ou inibição alimentar em organismos não-alvo. Estudos demonstraram que insetos predadores e necrófagos evitam consumir insetos mortos ou infectados por NEPs, fenômeno conhecido como “scavenger deterrent factor”, que favorece o complemento do ciclo de vida dos nematoides dentro do hospedeiro (Baur et al., 1998; Zhou et al., 2002; Gulcu et al., 2012). Em dermápteros, comportamento semelhante foi observado para *F. auricularia*, que reduziu o forrageamento em presas infectadas por *Steinernema* e *Heterorhabditis*, mesmo na ausência de alternativas alimentares (Lordan et al., 2014).

Do ponto de vista ecológico, a atividade dissuasora observada indica compatibilidade funcional entre nematoides entomopatogênicos e o predador generalista *E. annulipes*. A redução do consumo de presas infectadas preserva o ciclo dos nematoides, mantém a sobrevivência e a eficiência predatória do inseto sobre presas não infectadas e favorece a coexistência entre agentes de controle biológico em programas de manejo integrado de pragas, contribuindo para a estabilidade do sistema e a redução de impactos sobre inimigos naturais (Kaya et al., 1998; Desneux et al., 2007).

5. Conclusão

Euborellia annulipes apresenta baixa suscetibilidade aos nematoides entomopatogênicos estudados nas doses de 2.000 e 4.000 JIs, com a dose de 6.000 JIs de *S. carpocapsae* e *S. rorum* reduzindo a sobrevivência do predador,

com o predador demonstrando comportamento de evitação a abrigos associados à presença de nematoides.

Lagartas de *D. saccharalis* infectadas por nematoides são menos consumidas por *E. annulipes* em testes com e sem chance de escolha.

Os resultados indicam compatibilidade funcional entre *E. annulipes* e os nematoides entomopatogênicos trabalhados nos bioensaios, especialmente *H. bacteriophora*.

6. Referências

- Abd-Elgawad MM (2025) Transformational technologies for more uptakes of entomopathogenic nematodes. **Egyptian Journal of Biological Pest Control** 35(1):1.
- Arroyo RM, Souza JM, Nunes GS, Ramalho DG, De Botoli SA (2023) *Euborellia annulipes* mortality and predation on *Diatraea saccharalis* eggs after application of chemical and biological insecticides. **Agricultural Sciences** 14:11–22.
- Baur ME, Kaya HK, Strong DR (1998) Foraging ants as scavengers on entomopathogenic nematode-killed insects. **Biological Control** 12:231–236.
- Beuzelin JM, Akbar W, Mészáros A, Reay-Jones FPF, Reagan TE (2010) Field assessment of novaluron for sugarcane borer, *Diatraea saccharalis* (F.) (Lepidoptera: Crambidae), management in Louisiana sugarcane. **Crop Protection** 29:1168–1176.
- Campbell JF, Gaugler R (1993) Nictation behaviour and its ecological implications in host search strategies of entomopathogenic nematodes (Heterorhabditidae and Steinernematidae). **Behaviour** 126(3–4):155–169.
- Campos MR, Picanço MC, Martins JC, Tomaz AC, Guedes RNC (2011) Insecticide selectivity and behavioral response of the earwig *Doru luteipes*. **Crop Protection** 30(12):1535-1540.
- Castillo JC, Reynolds SE, Eleftherianos I (2011) Insect immune responses to nematode parasites. **Trends in Parasitology** 27:537–547.
- Costa NP, Oliveira HD, Brito CH, Silva AB (2010) Influência do nim na biologia do predador *Euborellia annulipes* e estudo de parâmetros para sua criação massal. **Revista de Biologia e Ciências da Terra** 7(2):1-11.
- Cao M, Goodrich-Blair H (2020) Xenorhabdus nematophila bacteria shift from mutualistic to virulent Lrp-dependent phenotypes within the receptacles of *Steinernema carpocapsae* insect-infective stage nematodes. **Environmental Microbiology** 22(12):5433–5449.

Desneux N, Decourtye A, Delpuech JM (2007) The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annual Review of Entomology** 52:81–106.

De Souza JM, Selegim AR, da Silva Nunes G, Truzzi CC, Vieira NF, De Bortoli SA (2022) Predation of *Diatraea saccharalis* eggs and neonates by the earwig *Euborellia annulipes*. **Biological Control** 172:104953.

Devi G (2022) Entomopathogenic nematodes: Impacts on non-target invertebrates. **Current Journal of Applied Science and Technology** 41(12):1–12.

Ehlers R-U (2001) Mass production of entomopathogenic nematodes for plant protection. **Applied Microbiology and Biotechnology** 56(5–6):623–633.

Ennis DE, Dillon AB, Griffin CT (2010) Simulated roots and host feeding enhance infection of subterranean insects by the entomopathogenic nematode *Steinernema carpocapsae*. **Journal of Invertebrate Pathology** 103(2):140–143.

Franco AL, Bartz ML, Cherubin MR, Baretta D, Cerri CE, Feigl BJ, Wall DH, Davies CA, Cerri CC (2016) Loss of soil (macro)fauna due to the expansion of sugarcane cultivation in Brazil. **Science of the Total Environment** 563:160–168.

Gaugler R (2002) **Entomopathogenic Nematology**. Wallingford: CABI Publishing. 400 p.

Gaugler R, Wang Y, Campbell JF (1994) Aggressive and evasive behaviors in *Popillia japonica* (Coleoptera: Scarabaeidae) larvae: defenses against entomopathogenic nematode attack. **Journal of Invertebrate Pathology** 64:193–199.

Georgis R, Poinar Junior GO (1989) Field effectiveness of entomophilic nematodes *Neoaplectana* and *Heterorhabditis*. In: Leslie AR, Metcalf RL (Eds.). **Integrated pest management for turfgrass and ornamentals**. Boca Raton: CRC Press, p. 213–224.

Georgis R, Kaya HK, Gaugler R (1991) Effect of Steinernematid and Heterorhabditid nematodes (Rhabditida: Steinernematidae and Heterorhabditidae) on nontarget arthropods. **Environmental Entomology** 20(3):815–822.

Glazer I (2002) Survival biology. In: Gaugler R (Ed.). **Entomopathogenic nematology**. Wallingford: CABI Publishing. p. 169–187.

Grewal PS, Ehlers R-U, Shapiro-Ilan DI (2005) **Nematodes as biocontrol agents**. Wallingford: CABI Publishing. 505 p.

Guimarães JH, Tucci EC, Gomes L (1992) Morfologia e biologia de *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae). **Revista Brasileira de Entomologia** 36(1):77–83.

Gulcu B, Hazir S, Kaya HK (2012) Scavenger deterrent factor (SDF) from symbiotic bacteria of entomopathogenic nematodes. **Journal of Invertebrate Pathology** 110:326–333.

Hodson AK, Siegel JP, Lewis EE (2011) Ecological interactions between entomopathogenic nematodes and insects. **Biological Control** 56(2):127–135.

Ishibashi N, Kondo E (1990) Behavior of infective juveniles. In: Gaugler R, Kaya HK (Eds.). **Entomopathogenic nematodes in biological control**. Boca Raton: CRC Press. p. 139–152.

Kaya HK, Gaugler R (1993) Entomopathogenic nematodes. **Annual Review of Entomology** 38:181–206.

Kaya HK, Stock P (1997) Techniques in insect nematology. In: Lacey L (Ed.). **Manual of techniques in insect pathology**. New York: Academic Press. p. 281–324.

Klein MG (1990) Efficacy against soil-inhabiting insect pests. In: Gaugler R, Kaya HK (Eds.). **Entomopathogenic nematodes in biological control**. Boca Raton: CRC Press. p. 195–214.

Lacey LA, Grzywacz D, Shapiro-Ilan DI, Frutos R, Brownbridge M, Goettel MS (2015) Insect pathogens as biological control agents: back to the future. **Journal of Invertebrate Pathology** 132: 1–41.

Lordan J, Alegre S, Alins G, Sarasúa MJ, Morton A, García del Pino F (2014) Compatibility between *Forficula auricularia* and entomopathogenic nematodes to be used in pome fruit pest management. **Journal of Applied Entomology** 138(9):635–643.

Moore D, Opoku-Debrah JK (2025) Non-target effects of exotic entomopathogenic nematodes? **IOBC-WPRS Bulletin** 179:11–14.

Parkman JP, Smart GC Jr (1996) Entomopathogenic nematodes, a case study: introduction of *Steinernema scapterisci* in Florida. **Biocontrol Science and Technology** 6(3):413–419.

Parveen SS (2025) Entomo-pathogenic nematodes (EPNs): the Yama of insect pests. **Agri Roots e-Magazine** 3(4):0202.

Powell JR, Webster JM (2004) Interguild antagonism between biological controls: impact of entomopathogenic nematode application on an aphid predator, *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae). **Biological Control** 30:110–118.

Ramalho FS, Wanderley PA (1996) Predation of boll weevil by *Euborellia annulipes*. **Neotropical Entomology** 25(1):23–30.

Roy S, Roy MM, Jaiswal AK, Baitha A (2018) Soil arthropods in maintaining soil health: thrust areas for sugarcane production systems. **Sugar Tech** 20:1–16.

Sandhi RK, Reddy GVP (2019) Effects of entomopathogenic nematodes and symbiotic bacteria on non-target arthropods. In: Khan A, Ahmad W (Eds.). **Microbes for sustainable insect pest management**. Cham: Springer. p. 247–273.

Santos LAO, Naranjo-Guevara N, Fernandes OA (2017) Diversity and abundance of edaphic arthropods associated with conventional and organic sugarcane crops in Brazil. **Florida Entomologist** 100(1):134–144.

Shapiro-Ilan DI, Hazir S, Glazer I (2017) Basic and applied research: entomopathogenic nematodes. In: Lacey LA (Ed.) *Microbial control of insect and mite pests: from theory to practice*. Amsterdam: Academic Press. p. 91–105.

Sicard M, Brugirard-Ricaud K, Pagès S, Lanois A, Boemare NE, Moulia C (2004) Stages of infection during the tripartite interaction between *Xenorhabdus nematophila*, its nematode vector, and insect hosts. **Applied and Environmental Microbiology** 70(11):6473–6480.

Silva AB, Batista JL, Brito CH (2009a) Capacidade predatória de *Euborellia annulipes* (Lucas, 1847) sobre *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797). **Acta Scientiarum. Agronomy** 31:7–11.

Silva AB, Batista JL, Brito CH (2009) Rearing methodology and biological aspects of *Euborellia annulipes* (Lucas) (Dermaptera: Anisolabididae). **Neotropical Entomology** 38(2):192–198.

Silva MSO, Cardoso JFM, Ferreira MEP, Baldo FB, Silva RSA, Chacon-Orozco JG, Leite LG (2021) An assessment of *Steinernema rarum* as a biocontrol agent in sugarcane with focus on *Sphenophorus levis*, host-finding ability, compatibility with vinasse and field efficacy. **Agriculture** 11(6):500.

Vincent C, Bertram SM (2010) Grooming and behavioral avoidance as defense mechanisms against ectoparasites and entomopathogenic pathogens. **Journal of Insect Behavior** 23(4):345–360.

Watschke TL, Dernoeden PH, Shetlar D (2013) **Managing turfgrass pests**. Boca Raton: CRC Press. 519 p.

Woodring JL, Kaya HK (1988) Steinernematid and heterorhabditid nematodes: a handbook of biology and techniques. Arkansas Agricultural Experiment Station - Southern Cooperative Series Bulletin 331. p. 1–30.

Zhou XS, Kaya HK, Heungens K, Goodrich-Blair H (2002) Response of ants to a deterrent factor(s) produced by the symbiotic bacteria of entomopathogenic nematodes. **Applied and Environmental Microbiology** 68:6202–6209.

CAPÍTULO 4 – Considerações finais

O Manejo Integrado de Pragas (MIP) tem como princípio fundamental a integração de diferentes táticas de controle visando ao controle de insetos-praga, à redução dos impactos ambientais, à sustentabilidade dos sistemas agrícolas e à preservação dos inimigos naturais associados aos agroecossistemas (Kogan, 1998; Desneux et al., 2007; Pedigo e Rice, 2009).

Na cultura da cana-de-açúcar esse enfoque torna-se ainda mais relevante diante da complexidade do sistema produtivo e da coexistência de múltiplos agentes de controle biológico, naturais ou aplicados de forma inundativa.

Os resultados desta tese demonstram que a compatibilidade entre *Euborellia annulipes* (Lucas, 1847) (Dermaptera: Anisolabididae) e diferentes estratégias de controle biológico e químico é viável e essencial para o sucesso do (MIP) na cana-de-açúcar. A seletividade dos inseticidas varia conforme a formulação e a associação com a vinhaça, tornando importante a escolha de moléculas compatíveis com inimigos naturais para a manutenção das populações, por exemplo, de *E. annulipes* no campo. Esses resultados indicam que, não apenas o ingrediente ativo, mas também o veículo e a tecnologia de aplicação influenciam diretamente a toxicidade para os inimigos naturais e a eficácia no controle das pragas.

Estudos prévios, como os de Desneux et al. (2007) e Bueno et al. (2017), reforçam que não há inseticidas seguros, mas é necessário o ajuste às condições de cultivo, ao sistema de produção e à comunidade de organismos benéficos. Além disso, alguns produtos apresentam efeitos subletais relevantes, como redução da fecundidade, longevidade e peso dos adultos, impactos não detectáveis em avaliações baseadas apenas na mortalidade (Fernandes et al., 2010).

A vinhaça, subproduto importante da indústria sucroenergética, exerce influência nas interações entre inseticidas e inimigos naturais. Embora amplamente utilizada como fertirrigação na cana-de-açúcar, sua aplicação simultânea com produtos fitossanitários exige cautela, pois altera a dinâmica de toxicidade para o predador e a praga em alguns casos. Os resultados desta tese demonstram que a associação da vinhaça com inseticidas pode reduzir a eficiência de controle de *S. levis*, além de modificar os efeitos diretos e subletais

sobre *E. annulipes*, indicando possível interferência físico-química e efeito de diluição dos ingredientes ativos. É importante considerar que a sustentabilidade da produção sucroenergética depende da integração de práticas agrícolas que conciliem produtividade com conservação de recursos naturais (Silva et al., 2023).

Os ensaios de suscetibilidade demonstraram que *E. annulipes* apresenta tolerância às espécies de nematoides entomopatogênicos (NEPs) avaliadas, mesmo quando exposta a diferentes doses de juvenis infectantes, não sendo observada mortalidade significativa do predador ao longo dos bioensaios. Esse resultado mostra a seletividade fisiológica desses agentes de controle biológico em relação ao predador, corroborando conceitos clássicos de seletividade. Adicionalmente, a ausência de infecção efetiva do predador indica que os nematoides mantêm especificidade funcional, direcionando sua ação preferencialmente às pragas-alvo, sem comprometer organismos benéficos não visados.

A capacidade do predador *E. annulipes* detectar e evitar ambientes tratados com NEPs reduz sua exposição, revelando comportamento adaptativo que pode favorecer a compatibilidade desses agentes em condições de campo.

A atividade dissuasora associada a presas infectadas sugere que *E. annulipes* é capaz de reconhecer hospedeiros parasitados, alterando seu padrão de forrageamento. Esse comportamento sugere a presença de sinais químicos ou microbianos que interferem na busca e aceitação do alimento pelo predador, fenômeno já descrito para outros artrópodes necrófagos e predadores generalistas (Baur et al., 1998; Foltan e Puza, 2009; Gulcu et al., 2012). Embora essa resposta possa reduzir temporariamente a taxa de predação em presas infectadas, os resultados indicam que tal interação não compromete a sobrevivência do predador, caracterizando-se como um efeito indireto que deve ser interpretado no contexto da dinâmica trófica do agroecossistema, e não como uma limitação ao uso conjunto desses agentes de controle biológico.

No contexto do MIP da cana-de-açúcar, estes resultados reforçam recomendações prévias de serem integradas diferentes táticas de controle com foco na seletividade (Li et al., 2019). A manutenção de *E. annulipes* em canaviais, em sistemas de colheita sem queima, representa ganho importante para o controle natural de pragas do solo e da parte aérea. Estratégias que

favoreçam a conservação de predadores generalistas contribuem para a redução da dependência de inseticidas químicos, alinhando-se à transição para sistemas produtivos mais sustentáveis e ambientalmente responsáveis, assim como a implementação de estratégias eficazes para o controle de *S. levis*, aliadas à compatibilidade entre agentes químicos, biológicos e práticas agronômicas, contribuindo significativamente para a redução da dependência do uso de inseticidas e para a sustentabilidade da exploração agrícola.

Referências

Baur ME, Kaya HK, Tabashnik BE (1998) Foraging behavior of the German cockroach (*Blattella germanica*) in response to entomopathogenic nematodes. **Journal of Invertebrate Pathology** 72(1): 54–60.

Bueno AF, Carvalho GA, Santos AC, Sosa-Gómez DR, Silva DMP (2017) Pesticide selectivity to natural enemies: challenges and perspectives. **BioControl** 62(3):1–15.

Desneux N, Decourtye A, Delpuech JM (2007) The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annual Review of Entomology** 52:81–106.

Fernandes FL, Bacci L, Fernandes MS (2010) Impact and selectivity of insecticides to predators and parasitoids. **Neotropical Entomology** 39(6):1–10.

Foltan P, Puza V (2009) Avoidance of insect cadavers infected with entomopathogenic nematodes by the carabid beetle *Pterostichus melanarius*. **Biological Control** 49(3):243–246.

Gulcu B, Hazir S, Kaya HK, Touray M (2012) Foraging responses of ants to insect cadavers infected with entomopathogenic nematodes. **Biological Control** 62(1):6–12.

Kogan M (1998) Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. **Annual Review of Entomology** 43:243–270.

Li Z, Liu Y, Li J, Shi W (2019) Integration of biological control agents into integrated pest management programs. **Pest Management Science** 75(10):1–9.

Pedigo LP, Rice ME (2009) **Entomology and pest management**. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 784 p.

Silva RA, Souza GS, Oliveira LR, Santos FA (2023) Sustainability challenges and advances in sugarcane production systems. **Sugar Tech** 25(2):1–12.