

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

DIETA ARTIFICIAL E NATURAL PARA CRIAÇÃO DE *Euborellia annulipes*
(DERMAPTERA: ANISOLABIDIDAE), RESPOSTA DE PREDACÃO COM
Diatraea saccharalis (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) E CUSTOS DE
PRODUÇÃO

Joice Mendonça de Souza

Engenheira Agrônoma

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**DIETA ARTIFICIAL E NATURAL PARA CRIAÇÃO DE *Euborellia annulipes*
(DERMAPTERA: ANISOLABIDIDAE), RESPOSTA DE PREDACÃO COM
Diatraea saccharalis (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) E CUSTOS DE
PRODUÇÃO**

Discente: Joice Mendonça de Souza

Orientador: Prof. Dr. Sergio Antonio De Bortoli

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

2021

S729d

Souza, Joice Mendonça de

Dieta artificial e natural para criação de *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae), resposta de predação com *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: crambidae) e custos de produção / Joice Mendonça de Souza. -- Jaboticabal, 2021

89 p. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Sergio Antonio De Bortoli

1. Predação. 2. Resposta funcional. 3. Custo de produção. 4. Tesourinha. 5. Broca da cana. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DIETA ARTIFICIAL E NATURAL PARA CRIAÇÃO DE *Euborellia annulipes* (DERMAPTERA: ANISOLABIDIDAE), RESPOSTA DE PREDACÃO COM *Diatraea saccharalis* (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) E CUSTOS DE PRODUÇÃO

AUTORA: JOICE MENDONÇA DE SOUZA

ORIENTADOR: SERGIO ANTONIO DE BORTOLI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (ENTOMOLOGIA AGRÍCOLA), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. SERGIO ANTONIO DE BORTOLI (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola (Fitossanidade) / FCAV / UNESP - Jaboticabal



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



Prof. Dr. ARLINDO LEAL BOIÇA JÚNIOR (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola (Fitossanidade) / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 26 de julho de 2021.

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 o curso de Mestrado em 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.

E-mail: joyce-mendonca@hotmail.com

“Se você quer ser bem-sucedido precisa ter dedicação total, buscar seu último limite e dar o melhor de si.”

Ayrton Senna

“Pode-se encontrar a felicidade mesmo nas horas mais sombrias, se a pessoa se lembrar de acender uma luz.”

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

A Deus, pelo dom da vida, pela proteção, pelas oportunidades e por ter iluminado os caminhos por onde passei.

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

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.

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

À Profa. Dr. Alessandra Marieli Vacari, pelos ensinamentos e pela colaboração na realização deste trabalho.

À minha mãe, meu irmão Leonardo, minha cunhada Andressa, minha sobrinha Teodora e toda minha família, por todos os momentos felizes e de amparo compartilhados.

Aos membros e ex-membros do Laboratório de Biologia e Criação de Insetos (LBCI), Gilmar da Silva Nunes, Caio Cesar Truzzi, Natalia Fernanda Vieira, Camila Pires Cardoso, Aimée Regali Seleglim, Iwlianny Luiza Pereira dos Santos, Marcelle Bezerra Silva, Matheus Moreira Dantas Pinto, Paula Sayuri Taguti, Lauany Cavalcante dos Santos, Brenda Karina Rodrigues da Silva, Thiago Nascimento de Barros e Dagmara Gomes Ramalho.

Aos estagiários do LBCI, Beatriz Ferracini, Marco Aurélio David Moralles, Rodrigo Marin Arroyo e Rafael Machado Fernandes, por toda a ajuda e apoio.

Agradeço em especial à Natalia, Caio, Gilmar, Brenda, Iwlianny e Marcelle por terem colaborado diretamente na realização deste trabalho, pela amizade e por todas as conversas, risadas e, sobretudo, pelos momentos felizes que compartilhamos.

Aos colegas e alunos do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Entomologia Agrícola) pela convivência, bons momentos e amizade durante todo o curso, em especial à Cíntia de Melo Gomes, Leonardo Vinícius Thiesen, Ana Letícia Zéro dos Santos, Daniel Dalvan do Nascimento, Claudiane Martins da Rocha, Déborah Heloísa Bittencourt Machado, Franciele Cristina da Silva, Thaise Mylena Pascuti, Ana Beatriz Dilena Spadoni, Joacir do Nascimento, Sandy Sousa Fonseca e Stéfane Carolina Quista da Silva.

Aos excelentes amigos que fiz em Jaboticabal, especialmente à Andressa Scholz Berça, aos meninos da República Agrotóxico e à Beatriz Fontes, pela amizade sincera, grande parceria e ótimos momentos de alegria e descontração.

À Usina São Martinho – Pradópolis/SP, pela disponibilidade com o material para a pesquisa.

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

Muito Obrigada!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais	1
1. Introdução	1
2. Revisão de literatura	3
2.1. Importância econômica de cana-de-açúcar	3
2.2. <i>Diatraea saccharalis</i>	4
2.3. Controle biológico com predadores.....	5
2.4. Dermapteros como agentes de controle biológico	6
2.5. <i>Euborellia annulipes</i>	9
2.6. Criação de insetos	10
3. Referências	12
CAPÍTULO 2 - Resposta de <i>Euborellia annulipes</i> ao estágio de desenvolvimento e à densidades populacionais de <i>Diatraea saccharalis</i>: implicações para o controle biológico	23
RESUMO -	23
ABSTRACT -	24
1. Introdução	25
2. Material e métodos	28
2.1. Obtenção do predador e da presa	28
2.2. Taxa de predação média com e sem chance de escolha	29
2.3. Preferência alimentar	30
2.4. Resposta funcional.....	30
2.5. Análise estatística	30
3. Resultados	32
3.1. Taxa de predação em diferentes condições de escolha	32
3.2. Preferência alimentar	33
3.3. Resposta funcional.....	34
4. Discussão.....	37
5. Conclusão	40
6. Referências	41
CAPÍTULO 3 – Aspectos biológicos comparados e custos de produção de	

<i>Euborellia annulipes</i> em dietas artificial e natural	46
RESUMO -	46
ABSTRACT –	47
1. Introdução	48
2. Material e métodos.....	50
2.1. Criação de <i>Euborellia annulipes</i>	50
2.2. Dietas utilizadas	50
2.3. Dieta natural.....	50
2.4. Desenvolvimento e sobrevivência.....	51
2.5. Peso do predador.....	52
2.6. Tabela de vida de fertilidade	52
2.7. Avaliação do custo de produção de <i>Euborellia annulipes</i>	53
2.8. Análises estatísticas.....	55
3. Resultados	55
3.1. Desenvolvimento e sobrevivência.....	55
3.2. Peso do predador.....	57
3.3. Fecundidade e fertilidade	58
3.4. Tabela de vida de fertilidade	59
3.5. Avaliação do custo de produção de <i>Euborellia annulipes</i>	60
4. Discussão.....	61
5. Conclusão	65
6. Referências	65
CAPÍTULO 4 – Considerações finais	71
Referências	73

DIETA ARTIFICIAL E NATURAL PARA CRIAÇÃO DE *Euborellia annulipes*
(DERMAPTERA: ANISOLABIDIDAE), RESPOSTA DE PREDACÃO COM *Diatraea*
***saccharalis* (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) E CUSTOS DE PRODUÇÃO**

RESUMO – *Euborellia annulipes* Lucas (Dermaptera: Anisolabididae) é um inseto cosmopolita e considerado um predador voraz, sendo relatada sua ocorrência em plantações de cana de açúcar onde pode estar associado à predação de *Diatraea saccharalis* (F.) (Lepidoptera: Crambidae). Entre os métodos de controle disponíveis para *D. saccharalis*, o mais usado é o controle biológico aplicado que utiliza um endoparasitoide de lagartas, *Cotesia flavipes* Cameron (Hymenoptera: Braconidae), buscando reduzir a população do inseto-praga. Contudo, este inimigo natural atua somente em lagartas presentes no interior do colmo, quando parte da planta já foi danificada. A utilização e associação com outros métodos de controle para *D. saccharalis*, principalmente nas fases imaturas que ainda não ocasionaram danos e prejuízos, se faz necessário com o uso de outros inimigos naturais como os predadores, mostrando-se ser uma ferramenta importante de manejo. Para a realização de pesquisas que auxiliem e aprimorem os programas de controle biológico utilizando predadores, é essencial a realização de estudos preliminares sobre a capacidade de predação, bem como sobre metodologias de criação que permitam a obtenção de uma grande quantidade de indivíduos a baixo custo, uma vez que dietas adequadas concorrem para a criação em grande escala. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar as respostas de *E. annulipes* ao estágio de desenvolvimento e às densidades populacionais de *D. saccharalis*, comparar o desenvolvimento biológico do predador criado em duas dietas artificiais e uma natural e analisar o custo de produção do predador em laboratório. Foi avaliado o consumo de ovos e de lagartas neonatas de *D. saccharalis* em função dos estágios de desenvolvimento do predador, em testes com e sem chance de escolha, verificando-se a preferência alimentar de ovos e lagartas neonatas estimando-se o índice de preferência de Manly. Foi também avaliado a resposta funcional de ninfas de quarto e quinto ínstaes, machos e fêmeas. A taxa média de predação foi maior para lagartas neonatas, com preferência alimentar por essa fase de desenvolvimento ($\beta = 0,98$). Os estágios mais avançados do predador (4º e 5º ínstaes e adultos) consumiram mais presas e a resposta funcional foi alterada sendo tipo III para fêmeas predando lagartas neonatas, onde o tempo de manipulação da presa foi menor. Visando fornecer informações para a criação do predador em laboratório, foram avaliadas 3 dietas para sua manutenção, sendo uma utilizada na criação de rotina do laboratório (D₁), outra modificada à base de ração inicial para frango de corte (D₂), além de uma natural à base de ovos de *D. saccharalis* com até três dias de idade da fase embrionária (D₃). Notou-se uma redução no período ninfal total de *E. annulipes* quando o predador consumiu a dieta D₃. Os adultos que se alimentaram da dieta D₃ apresentaram menor longevidade e os machos viveram menos que as fêmeas, independentemente da alimentação. Ninfas de segundo e terceiro ínstaes tiveram peso maior quando consumiram as dietas D₂ e D₃ e os machos apresentaram menor peso em relação às fêmeas. A fecundidade das fêmeas quando consumiram a dieta D₃ apresentou valor menor quando comparado

com a D_1 e D_2 . Os valores do tempo médio de geração (T) indicam que *E. annulipes* pode apresentar em média três gerações por ano quando consomem as dietas D_1 e D_2 . Os valores foram positivos para a razão finita de aumento (λ) ($>1,0$) e a taxa intrínseca de aumento (r_m). Todas as dietas testadas permitiram o desenvolvimento e obtenção de adultos de predador. O menor custo de produção de *E. annulipes* foi quando criado na dieta D_1 (R\$ 0,0004), seguindo da D_2 (R\$ 0,0006), enquanto o maior custo foi na D_3 (R\$ 5,64). A dieta mais adequada para a criação deste inseto é a D_1 . Espera-se que os resultados obtidos nesta dissertação forneçam informações para novos estudos com *E. annulipes* associados à predação de *D. saccharalis*, além de auxiliar na obtenção em laboratório de um predador de qualidade e de menor custo.

Palavras-chave: predação, resposta funcional, custo de produção, tesourinha, broca da cana.

**ARTIFICIAL AND NATURAL DIET FOR REARING *Euborellia annulipes*
(DERMAPTERA: ANISOLABIDIDAE), PREDATION RESPONSE WITH *Diatraea*
saccharalis (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) AND COSTS OF PRODUCTION**

ABSTRACT - *Euborellia annulipes* Lucas (Dermaptera: Anisolabididae) is a cosmopolitan insect and considered a voracious predator, and its occurrence has been reported in sugarcane crops where it may be associated with predation of *Diatraea saccharalis* (F.) (Lepidoptera: Crambidae). Among the control methods available for *D. saccharalis*, the most used is the applied biological control that uses a larvae endoparasitoid, *Cotesia flavipes* Cameron (Hymenoptera: Braconidae), aiming to reduce the insect pest population. However, this natural enemy only acts on larvae present inside the stalk, when part of the plant has already been damaged. The use and association with other control methods against *D. saccharalis*, especially when the pest have not caused damage and losses, is necessary. The use of others natural enemies such as predators, could be an important management tool. In order to carry out research that aids and improves biological control programs using predators, it is essential to make preliminary studies on the predation capacity and on rearing methodologies that allow obtaining a large number of individuals at low cost, once that proper diets support large-scale rearing. In this way, the objective of this work was to evaluate the responses of *E. annulipes* to the some development stage and population densities of *D. saccharalis*, to compare the biological development of the predator reared on two artificial and one natural diets and analyzing the cost of production of the predator in the laboratory. The consumption of eggs and newborn *D. saccharalis* larvae was evaluated as a function of the stages of development of the predator, in tests with and without choice, verifying the food preference and estimating the preference index of Manly. The functional response of fourth and fifth instar nymphs, males and females, was also evaluated. The mean predation rate was higher in newborn larvae, with a feeding preference for newborn ones ($\beta = 0.98$). The more advanced stages of the predator (4th and 5th instar and adults) consumed more prey and the functional response was changed depending on the phase of the predator and the prey, being type III for females preying newborn larvae, where the time of prey manipulation was smaller. Aiming to provide information for the rearing of the predator in the laboratory, 3 diets were evaluated: D₁ - used in the routine rearing of the laboratory; D₂ - based on starter feed for broiler chicken; and D₃ - natural *D. saccharalis* egg-based (eggs up to three days after oviposition day). A reduction in the total nymphal period of *E. annulipes* was noted when the predator consumed the D₃ diet. Adults that ate the D₃ diet had shorter longevity and males lived less than females, regardless of feeding. Second and third instar nymphs had higher weight when consuming diets D₂ and D₃ and males had lower weight compared to females. The fecundity of females when they consumed D₃ had a lower value when compared to D₁ and D₂. The mean generation time (*T*) values indicate that *E. annulipes* can have an average of three generations per year when consuming diets D₁ and D₂. Values were positive for the finite rate of increase (λ) (>1.0) and the intrinsic rate of increase (r_m). All tested diets allowed the development and obtaining of predator adults. The lowest production cost of *E. annulipes* was when reared on diet D₁ (R\$ 0.0004), followed by D₂ (R\$ 0.0006), while the highest cost was on D₃ (R\$ 5.64). The most suitable diet for breeding this insect is D₁. It is expected that the results obtained in this dissertation provide information for further studies with *E. annulipes* associated with the predation of *D. saccharalis*, in addition to helping to obtain a quality and lower cost predator.

Keywords: predation, functional response, production cost, earwigs, sugarcane borer.

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1. Introdução

O controle biológico de pragas vem se tornando cada vez mais importante na agricultura, particularmente devido a procura por alimentos livres de agrotóxicos e por práticas agrícolas mais sustentáveis e que sejam capazes de proporcionar boa produtividade e menor impacto ambiental (Bueno et al., 2003; Bale et al., 2007). Este método consiste na utilização de inimigos naturais (entomopatógenos, parasitoides e predadores) como alternativa para reduzir as densidades populacionais das pragas para abaixo do nível de dano econômico (Busoli et al., 2015; Barratt et al., 2018).

Dentre os inimigos naturais de importância agrícola, algumas espécies de predadores da ordem Dermaptera apresentam grande potencial para serem utilizadas no Manejo Integrado de Pragas (MIP) (Campos et al., 2011). As tesourinhas, importantes representantes dessa ordem de insetos, apresentam comportamento predatório desde os seus primeiros ínstares ninfais e atacam as presas em suas diferentes fases de desenvolvimento, desde o ovo até a fase adulta (Silva et al., 2009a e 2010). Estas características são importantes e desejáveis para que os insetos possam ser utilizados como agentes de controle biológico aplicado (Sueldo et al., 2010; Jaworki et al., 2013; Chakraborty, 2015).

Euborellia annulipes Lucas, 1847 (Dermaptera: Anisolabididae), uma espécie com ampla distribuição geográfica, tem chamado a atenção de muitos pesquisadores devido aos seus hábitos alimentares entomófagos, bem como seu potencial predatório de insetos considerados pragas de importância agrícola, como relatado por Silva et al. (2009a) em ovos e lagartas de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), e de lagartas e pupas de *Plutella xylostella* (L., 1785) (Lepidoptera: Plutellidae) por Nunes et al. (2018). *Euborellia annulipes* também foi observada em plantações de cana-de-açúcar e têm sido associada à predação da broca da cana-de-açúcar, *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae), em diferentes regiões do mundo, especialmente quando não há prática de queima na pré-colheita ou cultivo com uso intensivo de agrotóxicos (Showler e Reagan, 1991; Beuzelin et al., 2010; Franco et al., 2016; Santos et al., 2017; Roy et

al., 2018; Nunes et al., 2019b). No entanto, poucos estudos descrevem seu verdadeiro potencial como a gente de controle biológico, bem como o comportamento de predação nas fases iniciais de desenvolvimento de *D. saccharalis*.

Além de serem reportadas como potenciais predadores de insetos pragas, as tesourinhas podem ser criadas em laboratório com dieta artificial, o que aumenta e possibilita o desenvolvimento de estratégias para sua criação massal (Silva et al., 2009b; Miranda, 2011). Uma vez que, a criação e a multiplicação de predadores em laboratório são de fundamental importância para a utilização destes no controle biológico aplicado, com estabelecimento de uma metodologia de criação de indivíduos de qualidade, eficientes e de baixo custo tendo caráter fundamental (Oliveira et al., 2010).

Desse modo, a produção em grande escala de insetos para fins de controle biológico aplicado depende da obtenção de indivíduos de boa qualidade e que apresentem um custo/benefício dentro das exigências de mercado (Chambers, 1977). Para isso, é indispensável o conhecimento de aspectos técnicos e econômicos da produção de insetos, para a utilização efetiva e com sucesso de um agente de controle biológico na agricultura (De Bortoli et al., 2011).

A análise econômica permite conhecer, em termos monetários, a atividade da biofábrica como empresa, sendo importante para a tomada de decisão sobre a tática de controle no contexto de um programa de MIP, por ser o seu sucesso de implementação estritamente dependente de seu custo (Mendes et al., 2005). Portanto, no caso de *E. annulipes*, se faz necessário a realização de estudos levando-se em consideração um modelo de criação, inicialmente para fins de pesquisa, visando fornecer contribuições para que futuramente esse inseto possa vir a ser criado massalmente, comercializado e utilizado como agente de controle biológico aplicado.

Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar as respostas de *E. annulipes* ao estágio de desenvolvimento e às densidades populacionais de *D. saccharalis* e comparar o desenvolvimento biológico do predador, analisando o custo de produção criado em duas dietas artificiais, uma proposta por Silva et al., (2009b) e outra à base de ração inicial para frango de corte, além de uma natural, constituída por ovos de *D. saccharalis*, em condições de laboratório.

2. Revisão de literatura

2.1. Importância econômica de cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar, *Saccharum* spp. (Poaceae), é uma das principais culturas cultivadas no país, com o Brasil se destacando por ser o maior produtor mundial, tendo uma área total colhida de 8,62 milhões hectares na safra 2020/2021 com produção de 654,8 milhões de toneladas. O estado de São Paulo é considerado o maior produtor, participando com 53,7% de toda produção nacional, o que corresponde a 5,6 milhões de hectares plantados/colhidos (CONAB, 2021).

No Brasil, a cana é uma cultura que apresenta grande potencial econômico, destacando-se pela produção de açúcar e álcool, além de diversos subprodutos de relevância como vinhaça, melaço e aguardente, entre outros (Lopes et al., 2011), sendo também uma fonte de energia renovável, representando aproximadamente 17,4% da produção de energia na matriz energética brasileira (Ben, 2019).

Atualmente, a cultura assume lugar de destaque no cenário econômico mundial e brasileiro, sendo imprescindível a busca contínua por soluções relacionadas aos fatores que impactam e reduzem a produtividade dos canaviais. Dentre esses fatores pode-se destacar o ataque de insetos-praga, os quais causam perdas anuais de cerca 61 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, reduzindo significativamente também a produção industrial, o que corresponde a um prejuízo de aproximadamente 4,6 milhões de dólares (US\$541,00 por hectare) na produção de açúcar e etanol (Parra et al., 2010; Oliveira et al., 2014).

Uma das principais pragas responsáveis por esse prejuízo econômico é *D. saccharalis*, a broca da cana, com os danos causados pelas lagartas, podendo eles serem diretos e indiretos. Ao se alimentarem dos colmos, abrindo galerias, as lagartas concorrem para a redução da produção, podendo inclusive resultar na morte das plantas (diretos) (Dinardo-Miranda, 2008; Rossato Júnior et al., 2013).

Portanto, é de grande importância estudos que busquem desenvolver e/ou aperfeiçoar o manejo desta praga para que os conceitos MIP sejam aplicados eficientemente, uma vez que, por definição, constitui-se na utilização de estratégias que, isoladas ou combinadas harmonicamente, resultam no controle efetivo do inseto-

praga alvo, reduzindo sua população abaixo do nível de dano econômico. Desta forma, busca-se a sustentabilidade da cultura a longo prazo, diminuindo os custos e aumentando a qualidade da produção (Kogan, 1998; Miranda, 2010).

2.2. *Diatraea saccharalis*

A broca da cana, *D. saccharalis*, considerada praga-chave da cultura, possivelmente é originária das Américas do Sul e Central e encontrada em todo hemisfério ocidental, dos Estados Unidos até a Argentina (Capinera, 2001; Francischini et al., 2019). Quando o ataque da broca ocorre na fase inicial da cultura provoca a morte das gemas apicais das plantas e o “secamento” das folhas mais jovens, caracterizando o sintoma conhecido por “coração morto”. Em altas infestações as perdas maiores são decorrentes da morte de perfilhos, com consequente redução de “stand.” Quando o canavial já se encontra desenvolvido, as perdas na produtividade são devido à redução no peso dos colmos, além de se tornarem mais sujeitos a quebra pela ação de chuvas e ventos. Se o ataque ocorrer próximo as regiões de crescimento há a morte de gemas apicais, brotações laterais e enraizamento aéreo (Terán et al., 1985; Mendonça, 1996; Botelho e Macedo, 2002; Dinardo-Miranda, 2008). Os prejuízos causados pela broca da cana no Brasil são estimados em até R\$ 5 bilhões por ano (Cib, 2019).

Ainda, a infestação da broca é capaz de aumentar, também, o risco de contaminação por patógenos como bactérias e fungos oportunistas, que utilizam as aberturas das galerias deixadas pelo ataque da lagarta de *D. saccharalis* para infectar a planta. Dentre estes, os fungos *F. verticillioides* e *C. falcatum* são conhecidos por causar a podridão do colmo (podridão vermelha), o que intensifica ainda mais os prejuízos causados pela praga (Botelho e Macedo, 2002; Dinardo-Miranda, 2008; Walker et al., 2016). Entretanto, alguns pesquisadores estudaram a estreita associação entre o fungo *F. verticillioides* e a *D. saccharalis*, e relataram que o mesmo não é apenas um fungo oportunista, mas também um fungo que pode manipular a planta e o inseto-praga o longo de seu ciclo de vida para favorecer a infecção e a aumentar seu potencial de disseminação (Franco et al., 2021).

Uma vez que *D. saccharalis* causa diversos danos (diretos e indiretos) e consequentemente grandes prejuízos a cultura, é imprescindível que se faça o seu controle de forma eficaz. Dentre os métodos disponíveis para o manejo da broca da cana, destacam-se os controles químico e o biológico e, mais recentemente, a incorporação de plantas transgênicas no sistema de produção. Entretanto, o hábito endofítico das lagartas dificulta o controle químico pela aplicação de inseticidas químicos ou o controle biológico, por exemplo com o uso de formulações de *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bacillales: Bacillaceae) (Salles e Baldani, 1998; Antigo et al., 2013; Silva et al., 2018).

O controle biológico da broca com a produção e liberação do parasitoide *Cotesia flavipes* Cameron, 1891 (Hymenoptera: Braconidae) é realizado em aproximadamente 3,5 milhões de hectares de cana de açúcar no Brasil (Parra, 2019). Para se ter eficiência de parasitismo e de controle da broca é necessário realizar liberações constantes do parasitoide e, para tanto, *C. flavipes* é criado massalmente em várias biofábricas do país (Dinardo-Miranda et al., 2014; Freitas et al., 2018). Atualmente também tem sido utilizado em muitas áreas (cerca de 500.000 hectares) o parasitoide de ovos *Trichogramma galloi* Zucchi, 1988 (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Em relação à predadores, embora não sejam destaque comercial como os parasitoides, aqueles de ocorrência natural, como tesourinhas e formigas, são vistos como possíveis agentes responsáveis pela eliminação das fases imaturas de *D. saccharalis* em campo (Degaspari et al., 1987; Showler e Reagan, 1991; Beuzelin et al., 2010; Franco et al., 2016; Santos et al., 2017; Roy et al., 2018), contribuindo em cerca de 70 a 80% na predação de ovos (Macedo et al., 2012).

O estudo e a definição de métodos de controle complementares aos atualmente disponíveis são bastante desejáveis para inclusão em programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP) (Fernandes et al., 2011; Brewer et al., 2013; Ramsden et al., 2017), com o uso de predadores podendo ser considerado uma alternativa viável, principalmente quando estes já estão presentes nas áreas de canaviais.

2.3. Controle biológico com predadores

Dentre as táticas incluídas no Manejo Integrado de Pragas (MIP) uma das mais importantes é o controle biológico, que consiste na utilização de inimigos naturais visando reduzir as populações de pragas nos agroecossistemas e mantê-las abaixo do nível de dano econômico (Busoli et al., 2015). Este método de controle assume importância cada vez maior em programas de MIP, uma vez que o uso de inimigos naturais destaca-se como uma solução sustentável para o controle de insetos-praga e consequente produção de alimentos mais saudáveis (Lacey et al., 2001; Parra, 2002; Symondson et al., 2002; Barratt et al., 2018).

Segundo Price et al. (2011), existem três tipos de controle biológico de pragas: 1-) clássico (introdução de um determinado organismo para controle de uma praga numa dada região); 2-) natural ou conservativo (favorecer as populações de inimigos naturais, manipulando o ambiente para gerar condições favoráveis para o desenvolvimento destes); 3-) e o aplicado ou aumentativo (multiplicação, em laboratório, dos inimigos naturais e liberação em campo). Nesse contexto, as populações de insetos-praga podem ser manejadas e controladas por meio de predadores, que se alimentam de diversas espécies, bem como de parasitoides, que necessitam de apenas um indivíduo hospedeiro para completar seu desenvolvimento, sendo esses mais específicos na escolha hospedeira em relação aos predadores (Angler et al., 2012).

Entre os agentes de controle biológico de importância agrícola, os predadores da ordem Dermaptera são relatados como potenciais predadores de insetos-praga de vários cultivos de importância agrícola, entre eles cana-de-açúcar, hortaliças, algodão e milho (Negm e Hensley, 1972; Koppenhöfer et al., 1992; Ramalho, 1994; Urbaneja et al., 2006; Kočárek et al., 2015; Bourne et al., 2019; Cocco, 2019).

2.4. Dermápteros como agentes de controle biológico

A ordem Dermaptera, ainda pouco estudada, é constituída por insetos terrestres, de hábitos noturnos e cosmopolitas, com aproximadamente 2000 espécies descritas, pertencentes a 11 famílias (Haas, 2018 e 2019). Em relação a sua morfologia, são reconhecidos pelo seu corpo achatado e telescópico, e por possuírem características básicas como a presença de asas anteriores curtas do tipo tégmina e

que encobrem as asas posteriores do tipo membranosa. A presença de apêndices abdominais fortemente esclerotizados, que são facilmente identificados e denominados cercos ou pinças, tem função de defesa, ataque na captura de presas, auxílio na cópula e no dimorfismo sexual (Haas et al., 2000; Gallo et al., 2002; Kočárek et al., 2013). Existem também nesta ordem insetos ápteros, que pertencem a família Anisolabididae, com aproximadamente 32 espécies distribuídas em 10 gêneros (Matzke e Kočárek, 2015; Haas, 2019).

Os dermápteros, conhecidos popularmente como tesourinhas, são considerados insetos onívoros que têm na sua dieta alimento de origem vegetal e/ou animal (Debras et al., 2007; Frank et al., 2007; Dib et al., 2010 e 2011; Stutz e Etling, 2011). As tesourinhas são insetos hemimetabólicos, ou seja, passam pelos estágios de ovo, ninfa e adulto, com o ciclo de vida variando de 100 a 300 dias. As fêmeas realizam suas posturas em locais escuros e úmidos, normalmente debaixo de rochas, em serapilheira e em “palhada”, realizando posturas com 30 a 50 ovos que, geralmente, são de coloração esbranquiçada a amarelada, têm forma elíptica e córion liso, ficando quase transparentes quando próximo à eclosão da ninfa (Figura 1) (Guimarães et al., 1992; Ren et al., 2019).



Figura 1 - Ovos e ninfa de eclosão recente de *Euborellia annulipes* em laboratório_S (Foto: Joice Souza).

o sucesso da espécie, uma vez que o cuidado se dá antes mesmo da postura, com as fêmeas preparando os ninhos e permanecendo em cima ou do lado dos ovos até a eclosão das ninfas, protegendo-os de predadores e patógenos (Hehar et al., 2008;

Wong e Kölliker, 2012; Boos et al., 2014; Jacobs e Stigall, 2019). O cuidado parental pode durar apenas até o 1º ínstar das ninfas, mas pode também variar em sua duração com a espécie (Brown, 2006).



Figura 2 - Cuidado maternal de *Euborellia annulipes* em laboratório (Foto: Joice Souza).

Desde 1886 as tesourinhas são consideradas predadoras de artrópodes-praga, porém por muitos anos também foram malvistas e apontadas como insetos perigosos à saúde humana, possivelmente devido ao seu hábito noturno, a presença de cercos, maus odores que exalam e muita superstição (Futton, 1924; Costa et al., 2007; Lemelin et al., 2016). Com o passar do tempo, as tesourinhas começaram a ser encontradas e registradas em culturas de importância agrícola (Jones et al., 1988; Romeu-Dalmau et al., 2012), sendo associadas, na maioria das vezes, à diminuição ou eliminação de população de insetos-praga.

A alta capacidade predatória em diversas presas, principalmente ovos e fases imaturas (ninfas e larvas) de insetos pragas pertencentes às ordens Lepidoptera, Hemiptera, Coleoptera e Diptera, desperta grande interesse por estes insetos, o que tem levado a grandes avanços nos estudos dos dermápteros (Lemos, 1997; Silva, 2009a; Silva et al., 2010; Costa et al., 2010). Um exemplo é *E. annulipes* que, apesar de ter relatada a sua herbivoria, tem sido frequentemente estudada como um possível agente de controle de pragas (Gabarra et al., 2015; Kočárek et al., 2015; Bourne et al., 2019).

2.5. *Euborellia annulipes*

Euborellia annulipes é uma das espécies de maior ocorrência e distribuição geográfica no mundo, sendo anteriormente relatada como inseto-praga em produtos agrícolas armazenados e, algumas vezes, em condições de campo (Gould, 1948; Melamed-Madjar, 1971). No entanto, o avanço dos estudos trouxe uma visão diferente desse inseto ao ser comprovado seu potencial como predador de artrópodes-praga de importância médica, médico-veterinária e agrícola (Silva et al., 2009a; Nunes et al., 2018; Byttebier e Fischer, 2019). Desse modo, a verdadeira função desses inimigos naturais nos agroecossistemas tem sido questionada, sendo sua eficiência predatória, agressividade e importância agrícola cada vez mais evidenciada (Negm e Hensley, 1972; Koppenhöfer et al., 1992; Ramalho, 1994; Kočárek et al., 2015; Cocco, 2019; Ribeiro e Gontijo, 2017; Nunes et al., 2019 a e c; Rana et al., 2019).

De acordo com alguns autores, *E. annulipes* ocorre em plantações de cana-de-açúcar de diferentes regiões do mundo, estando associada à predação de *D. saccharalis*, particularmente quando não são realizadas as queimas pré-colheitas nos canaviais e/ou o uso indiscriminado de agrotóxicos (Showler e Reagan, 1991; Beuzelin et al., 2010; Franco et al., 2016; Santos et al., 2017; Roy et al., 2018). Apesar de o manejo da broca ser baseado fortemente no controle biológico utilizando *C. flavipes* (Dinardo-Miranda, 2008; Vacari et al., 2012a; Parra e Coelho, 2019), este parasitoide atua somente em lagartas presentes no interior do colmo, quando parte da planta já foi danificada (Botelho, 1992; Cruz et al., 2011). Em função disso é necessário a utilização e a associação de outros métodos de controle para *D. saccharalis*, principalmente nas fases imaturas que ainda não ocasionaram prejuízos às plantas.

Dessa forma, o uso de inimigos naturais como os predadores pode se tornar uma ferramenta importante no controle de insetos-praga, particularmente da broca da cana, com o controle biológico sendo bastante favorecido como uma das táticas de manejo de pragas, bem como do manejo da resistência à produtos químicos (Liu et al., 2014; Gould et al., 2018). Além disso, deve ser mencionado que os predadores normalmente são generalistas, como *E. annulipes*, podendo se manter na área por

mais tempo (Symondson et al., 2002), sendo casos de sucesso do controle biológico natural e com grande potencial também para o aplicado.

2.6. Criação de insetos

O crescente uso de agentes de controle biológico (parasitoides e predadores) visando ao combate de artrópodes-praga, demanda cada vez mais uma maior quantidade de inimigos naturais, o que representa um dos grandes desafios enfrentado pelos pesquisadores que atuam na área de criação de insetos, no sentido de desenvolver metodologias para criação massal, em condições de laboratório, sobretudo devido à grande diversidade e características das diferentes espécies (Cohen, 2015).

A nutrição de insetos afeta diretamente o desenvolvimento, interferindo drasticamente na capacidade reprodutiva e na viabilidade das diferentes fases de seu ciclo de vida (Panizzi e Parra, 2009). Assim, quanto melhor for a adequação nutricional do inseto à fonte de alimento, maior será o seu potencial reprodutivo (Panizzi e Slansky Jr., 1985).

No laboratório, a manutenção de populações de insetos pode ser realizada por meio de dietas naturais ou artificiais. No caso de dieta natural para predadores e parasitoides há a necessidade normalmente de se manter uma outra espécie como fonte de alimento (presa ou hospedeiro), o que significa um grande aumento no custo de produção, particularmente com mão-de-obra. Já a dieta artificial apresenta diversas vantagens, sendo a principal uma menor necessidade de mão de obra, permitindo a produção de insetos em quantidade, qualidade e menor custo, o que concorre para grandes avanços em áreas básicas e aplicadas da entomologia, favorecendo bastante o desenvolvimento de programas de MIP (Parra, 2000; Panizzi e Parra 2009; De Bortoli et al., 2017).

A evolução das dietas artificiais foi um grande avanço para a criação e a nutrição de insetos, particularmente das ordens Lepidoptera, Diptera e Coleoptera (Singh e Moore, 1985). Com isso, está sendo possível a produção de insetos, tanto em pequena escala para fins de estudos taxonômicos, bioensaios e avaliações

nutricionais (pesquisa), como em larga escala favorecendo o desenvolvimento de programas de MIP que têm como base o controle biológico aplicado (Parra, 2000).

Em 1908, *Calliphora vomitoria* (Linnaeus, 1758) (Diptera: Calliphoridae) foi a primeira espécie de inseto a ser criada inteiramente com dieta artificial, sendo a dieta utilizada por Bogdanov composta por peptona, extrato de carne, amido e minerais (Thompson e Simpson, 2009). No Brasil, o primeiro inseto fitófago a ser criado em dieta artificial foi a broca da cana por Gallo et al. (1969), utilizando a dieta desenvolvida por Hensley e Hammond Jr. (1968).

Além de atender às exigências nutricionais, uma dieta artificial deve possibilitar alta viabilidade larval/ninfal, com sobrevivência acima de 75%; produzir adultos com alta aptidão reprodutiva; manter a qualidade do inseto ao longo das gerações; apresentar baixo custo, ser de fácil preparação; ter os ingredientes de fácil acesso no mercado; se possível servir para mais de uma espécie ou grupo; e permitir o armazenamento por um longo período (Singh, 1983; Parra, 2012).

Independente da espécie, as exigências nutricionais qualitativas são semelhantes, uma vez que estas consideram exclusivamente os nutrientes exigidos sob o ponto de vista químico. Desse modo, os insetos têm como exigências básicas, aminoácidos, vitaminas e sais minerais (nutrientes essenciais), bem como carboidratos, lipídeos e esteróis (nutrientes não-essenciais), os quais devem ser adequadamente balanceados (nutrição quantitativa), principalmente na relação proteínas (aminoácidos) e carboidratos (Parra, 2009). Os aminoácidos são limitantes para o crescimento/desenvolvimento dos insetos, pois desempenham importantes funções nos diferentes processos metabólicos e normalmente são incluídos nas dietas artificiais por meio de fontes proteicas como soja, caseína, germe de trigo, feijão e levedura (Vanderzant, 1974; Scriber e Slansky Jr., 1981).

A eficácia do uso de inimigos naturais como agentes de controle biológico depende de quão eficientemente eles podem ser criados em laboratório. Além da parte nutricional, estudos sobre aspectos técnicos e econômicos da criação de um inimigo natural é crucial para seu uso eficaz como agente de controle biológico aplicado no campo ou em estufas (Vacari et al., 2012b). De acordo com van Lenteren (2000), o desenvolvimento de técnicas de produção em massa, controle de qualidade, armazenamento, transporte e liberação de inimigos naturais

pode levar à diminuição dos custos de produção e melhoria no controle de insetos-praga, o que certamente resultará no incremento da produção e qualidade dos produtos agrícolas colocados no mercado.

3. Referências

Angler GI, Stenberg JA, Björkman C (2012) Omnivores as plant bodyguards – a model of the importance of plant quality. **Basic and Applied Ecology** 13:441-448.

Antigo MR, Oliveira HN, Carvalho GA, Pereira FF (2013) Repelência de produtos fitossanitários usados na cana-de-açúcar e seus efeitos na emergência de *Trichogramma galloi*. **Revista Ciência Agronômica** 44(4): 910- 916.

Bale JS, van Lenteren JC, Bigler F (2007) Biological control and sustainable food production. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences** 363:761-776.

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

Ben (2019) Balanço Energético Nacional Base ano 2019. Disponível em:<<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 15 jun. 2021.

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.

Boos S, Meunier J, Pichon S, Kölliker M (2014) Maternal care provides antifungal protection to eggs in the European earwig. **Behavioral Ecology** 25:754-761.

Botelho PSM (1992) Quinze anos de controle biológico da *Diatraea saccharalis* utilizando parasitóides. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 27(13):255-262.

Botelho PSM, Macedo N (2002) *Cotesia flavipes* para o controle de *Diatraea saccharalis*. In: Parra JRP, Botelho PSM, Correia-Ferreira BS, Bento JMS (Eds.)

Controle Biológico no Brasil: parasitóides e predadores. São Paulo: Manole. p. 409-425.

Bourne A, Fountain MT, Wijnen H, Shaw B (2019) Potential of the European earwig (*Forficula auricularia*) as a biocontrol agent of the soft and stone fruit pest *Drosophila suzukii*. **Pest Management Science** 75:3340–3345.

Brewer MJ, Anderson DJ, Armstrong JS (2013) Plant growth stage-specific injury and economic injury level for verde plant bug, *Creontiades signatus* (Hemiptera: Miridae), on cotton: effect of bloom period of infestation. **Journal of Economic Entomology** 106(5):2077-2083.

Brown, GS (2006) Sperrn competition and male forceps dimorphism in the European earwig *Forficula Auricularia* (Dermaptera: Forficulina). Disponível em:<<http://www.baronyofullwood.com/Thesis.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

Bueno VHP, van Lenteren JC, Silveira LCP, Rodrigues SMM (2003) An overview of biological control in greenhouse chrysanthemums in Brazil. **IOBC/WPRS Bulletin** 26:1-5.

Busoli AC, Guerreiro JC, Viana DV, Pessoa R, Fraga DF, Santos LS (2015) Tópicos em manejo integrado de pragas em sistemas agrícolas. in: Busoli AC, Castilho RC, Andrade DJ, Rossi GD, Viana DL, Fraga DF, Souza LA (Eds.) **Tópicos em Entomologia Agrícola – VIII**. Jaboticabal: Maria de Lourdes Brandel, p. 277-303.

Byttebier B, Fischer S (2019) Predation on eggs of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae): temporal dynamics and identification of potential predators during the winter season in a temperate region. **Journal of Medical Entomology** 56:737-743.

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

Capinera JL (2001) Sugarcane borer, *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Insecta: Lepidoptera: Pyralidae). Disponível em:<<https://pdfs.semanticscholar.org/ab3d/01c62d1be2899ba9d58322db295fe9986555.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2021.

Chakraborty S (2015) The influence of generalist predators in spatially extended predator-prey systems **Ecological Complexity** 23:50-60.
 Chambers DL (1977) Quality control in mass rearing. **Annual Review of Entomology** 22:289-308.

CIB - Conselho de Informações sobre Biotecnologia (2019) O Brasil transgênico. Disponível em:<<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/agroanalysis/article/viewFile/80794/77126>>. Acesso em: 30 mai. 2021.

Cocco J (2019) **Relações tri-tróficas em milho transgênico envolvendo lepidópteros pragas e seus inimigos naturais em milho transgênico**. 102 p. Tese (Doutorado em Zoologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Cohen AC (2015) **Insect diets: science and technology**. Boca Raton: CRC Press, 473 p.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (2020) Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, v.7, Safra 2020/21, Primeiro levantamento. Disponível em:<<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>>. Acesso em: 02 mai. 2021.

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.

Cruz I, Redoan AC, Silva RB, Figueiredo MLC, Penteado-Dias AM (2011) Novo registro de *Tetrastichus howardi* (Olliff) como parasitóide de *Diatraea saccharalis* (Fabr.) em milho. **Scientia Agricola** 68:252–254.

De Bortoli SA, Otuka AK, Vacari AM, Martins MI, Volpe HX (2011) Comparative biology and production costs of *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) when fed different types of prey. **Biological Control** 58:127-132.

De Bortoli SA, Vacari AM, De Bortoli CP (2017) Criação de insetos: passado, presente e futuro. In.: Castilho RC, Barilli DR, Truzzi CC (Eds.) **Tópicos em entomologia agrícola - X**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda., p. 13-26.

Debras JF, Dussaud A, Rieux R, Dutoit T (2007) A prospective research on the hedgerow's 'source' function. **Comptes Rendus Biologies** 330(9):664-673.

Degaspari N, Macedo N, Botelho PSM, Araújo JR, Almeida LC (1987) Predadores e parasitos de ovos da *Diatraea saccharalis* em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 22(8):785-792.

Dib H, Simon S, Sauphanor B, Capowiez Y (2010) The role of natural enemies on the population dynamics of the rosy apple aphid, *Dysaphis plantaginea* Passerini (Hemiptera: Aphididae) in organic apple orchards in south-eastern France. **Biological Control** 55(2):97-109.

Dib H, Jamont M, Sauphanor B, Capowiez Y (2011) Predation potency and intraguild interactions between generalist (*Forficula auricularia*) and specialist (*Episyrphus balteatus*) predators of the rosy apple aphid (*Dysaphis plantaginea*). **Biological Control** 59(2):90-97.

Dinardo-Miranda LL (2008) Pragas. In: Dinardo-Miranda LL, Vasconcelos ACM, Landell MGA (Eds.) **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 882 p.

Dinardo-Miranda LL, Fracasso JV, Costa VP, Lopes OT (2014) Dispersal of *Cotesia flavipes* in sugarcane field and implications for parasitoid releases. **Bragantia** 73:163–170.

Fernandes FL, Picanço MC, Campos SO, Bastos CS, Chediak M, Guedes RNC, Silva R (2011) Economic injury level for the coffee berry borer (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) using attractive traps in Brazilian coffee fields. **Journal of Economic Entomology** 104(6):1909-1917.

Francischini FJB, Cordeiro EMG, Campos JB, Alves-Pereira A, Viana JPG, Wu X, Wei W, Brown P, Joyce A, Murua G, Fogliata S, Clough SJ, Zucchi MI (2019) *Diatraea saccharalis* history of colonization in the Americas. The case for human-mediated dispersal. **Plos One** 1(7):1-16.

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.

Franco FP, Túler AC, Gallan DZ, Gonçalves FG, Favaris AP, Peñaflor MFG, Leal WS, Moura DS, Bento JMS, Silva-Filho MC (2021) The fungal phytopathogen modulates

plant and insect responses to promote their spread. **The ISME Journal** 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41396-021-01010-z>

Frank SD, Wratten SD, Sandhu HS, Shrewsbury PM (2007) Video analysis to determine how habitat strata affects predator diversity and predation of *Epiphyas postvittana* (Lepidoptera: Tortricidae) in a vineyard. **Biological Control** 41(2):230-236.

Gabarra R, Riudavets J, Rodríguez GA, Pujade-Villar J, Arnó J (2015) Prospects for the biological control of *Drosophila suzukii*. **BioControl** 60:331–339.

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.

Gallo D, Wiendl FM, Willians RN, Berti Filho E (1969) Método de criação artificial da broca da cana-de-açúcar para emprego no seu controle. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ENTOMOLOGIA. Resumos, Recife, p. 4.

Gould GE (1948) Insect-problems in corn processing plants. **Journal of Economic Entomology** 41:774–778.

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

Guimarães JH, Tucci EC, Gomes JPC (1992) Dermaptera (Insecta) associados a aviários industriais no estado de São Paulo e sua importância como agentes de controle biológico de pragas avícolas. **Revista Brasileira de Entomologia** 36(3):527-534.

Haas F (2018) Biodiversity of Dermaptera. In: Foottit RG, Adler PH (Eds.) **Insect Biodiversity and Society**. Hoboken: Wiley-Blackwell. p. 315–334.

Haas F (2019) Earwig Research Centre. Disponível em:< <https://grdc.com.au/resources-and-publications/grdc-update-papers/tab-content/grdc-update-papers/2019/08/earwigs-latest-research-on-these-damaging-pests>>. Acesso em: 20 mai. 2021.

Haas F, Gorb SN, Wootton RJ (2000) Elastic joints in dermapteran hind wings: materials and wing folding. **Arthropod Structure and Development** 29:137–146.

Hehar G, Gries R, Gries G (2008) Re-analysis of pheromone-mediated aggregation behaviour of European earwigs. **The Canadian Entomologist** 140:674-681.

Hensley SD, Hammond Jr AM (1968) Laboratory techniques for rearing the sugar cane borer on an artificial diet. **Journal of Economic Entomology** 61:1742-1743.

Jacobs AC, Stigall T (2019) Paternity and egg cannibalism in the ringlegged earwig *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae). **Entomological Science** 22:250-257.

Jaworki CC, Bompard A, Genies L, Amiens-Desneux E, Desneux N (2013) Preference and prey switching in a generalist predator attacking local and invasive alien pests. **PloS ONE** 8(12): e82231.

Jones RW, Gilstrap FE, Andrews KL (1988) Biology and life tables for the predaceous earwig, *Doru taeniatum* (Derm.: Forficulidae). **Entomophaga** 33:43-54.

Kočárek P, Dvorak L, Kirstova M (2015) *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae), a new alien earwig in central european greenhouses: potential pest or beneficial inhabitant? **Applied Entomology and Zoology** 50:201-206.

Kočárek P, John V, Hulva P (2013) When the body hides the ancestry: phylogeny of morphologically modified epizoic earwigs based on molecular evidence. **PLoS One** 8(6):1-9.

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

Koppenhöfer AM, Reddy KS, Madel G, Lubega MC (1992) Predators of the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Col., Curculionidae) in western Kenya. **Journal of Applied Entomology** 114:530-533.

Lacey LA, Frutos R, Kaya HK, Vail P (2001) Insect pathogens as biological control agents: do they have a future? **Biological Control** 21:230–248.

Lemelin RH, Harper RW, Dampier J, Bowles R, Balika D (2016) Humans, insects and their interaction: a multi-faceted analysis. **Animal Studies Journal** 5:65-79.

Lemos WP (1997) **Biologia e exigência térmicas de *Euborellia annulipes* (Lucas, 1847) (Dermaptera: Anisolabididae), predador do Bicudo-do-algodoeiro**. 112 p. Monografia de Graduação, Universidade Federal da Paraíba, Areia.

Liu X, Chen M, Collins HL, Onstad DW, Roush RT, Zhang Q, Earle ED, Shelton AM (2014) Natural enemies delay insect resistance to Bt crops. **PLoS One** 9(3):1-8.

Lopes DOP, Dinardo-Miranda LL, Busoli AC (2011) Atualidades em pragas da cultura da cana-de-açúcar: sudeste e nordeste do Brasil. **Tópicos em entomologia agrícola – IV**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda., p. 16-25.

Macedo N, Macedo D, Campos MBS, Novaretti WRT, Ferraz LCB (2012) Manejo de pragas e nematoides. In: Santos F, Borem A, Caldas C (Eds.) **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e etanol – tecnologias e perspectivas**. 2. ed. Viçosa: Editora Folha de Viçosa Ltda, p. 119-159.

Matzke D, Kočárek P (2015) Description and biology of *Euborellia arcanum* sp. nov., an alien earwig occupying greenhouses in Germany and Austria (Dermaptera: Anisolabididae). **Zootaxa** 3956:131-139.

Melamed-Madjar V (1971) Bionomics and ecology of the earwig *Anisolabis* (*Euborellia*) *annulipes* Luc. (Labiduridae-Dermaptera) in Israel. **Zeitschrift für Angewandte Entomologie** 69:170-176.

Mendes SM, Bueno VHP, Carvalho LM (2005) Adequabilidade de diferentes substratos à oviposição do predador *Orius insidiosus* (Say) (Hemiptera: Anthocoridae). **Neotropical Entomology** 34:415-421.

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

Miranda JE (2008) Manejo integrado de pragas do algodoeiro no cerrado brasileiro. Embrapa Algodão-Circular Técnica (INFOTECA-E), 36 p.

Miranda JR (2011) **Aspectos biológicos de *Euborellia annulipes* em dietas artificiais e capacidade predatória sobre *Brevicoryne brassicae***. 50 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia.

Negm AA, Hensley SD (1972) Role of predaceous arthropods of the sugarcane borer *Diatraea saccharalis* (F.) in Louisiana. **Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technology** 14:445-453.

Nunes GS, Dantas TAV, Figueiredo WRS, Souza MS, Nascimento IN, Batista JL (2018) Predation of diamondback moth larvae and pupae by *Euborellia annulipes*. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** 13:1-8.

Nunes GS, Dantas TAV, Souza MS, Nascimento IN, Batista JL, Malaquias JB (2019a) Life stage and population density of *Plutella xylostella* affect the predation behavior of *Euborellia annulipes*. **Entomologia Experimentalis et Applicata** 167:544-552.

Nunes GS, Ramalho DG, Santos NA, Truzzi CC, Vieira NF, Cardoso CP, De Bortoli SA (2019b) Parasitism-mediated interactions between the ring-legged earwig and sugarcane borer larvae. **Neotropical Entomology** 48:919–926.

Nunes GS, Truzzi CC, Nascimento J, Paula FF, Matos ST, Polanczyk RA, De Bortoli SA (2019c) *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) – treated diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) larvae mediate the preference and functional response of *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae) nymphs. **Journal of Economic Entomology** 112:2614–2619.

Oliveira JEM, De Bortoli SA, Santos RF, Moreira AM (2010) Desenvolvimento de metodologia de criação e multiplicação de *Aphis gossypii*: avanços e sucessos. **Comunicata Scientiae** 1:65-68.

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.

Panizzi AR, Parra JRP (2009) **Bioecologia e nutrição de insetos**: base para o manejo integrado de pragas. Brasília: EMBRAPA, 1163p.

Panizzi AR, Slansky Jr F (1985) Review of phytophagous pentatomids (Hemiptera: Pentatomidae) associated with soybean in the Americas. **The Florida Entomologist** 68:184-214.

Parra JRP (2000) A biologia de insetos e o manejo integrado de pragas: da criação em laboratório à aplicação no campo. In: Guedes JC, Costa ID, Castiglioni E. (Orgs.) **Bases e técnicas do manejo de insetos**. Santa Maria: UFSM-CCR-DFS, p. 1-29.

Parra JRP (2002) Criação massal de inimigos naturais. In: Parra JRP, Botelho PSM, Corrêa-Ferreira BS, Bento JMS (Eds.) **Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores**. São Paulo: Manole, p. 143-164.

Parra JRP (2009) A evolução das dietas artificiais e suas interações em ciência e tecnologia. In.: Panizzi AR, Parra JRP (Eds.) **Bioecologia e nutrição de insetos: base para o manejo integrado de pragas**. Brasília: Embrapa, p. 91-174.

Parra JRP (2012) The evolution of artificial diets and their interactions in science and technology. In.: Panizzi AR, Parra JRP (Eds.) **Insect bioecology and nutrition for integrated pest management**. Boca Raton: CRC Press, p. 51-92.

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

Parra JRP, Botelho PSM, Pinto AS (2010) Controle biológico de pragas como um componente chave para a produção sustentável da cana-de-açúcar. In: Cortez LAB (Ed.) **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo: Blucher, p. 441-450.

Parra JRP, Coelho A (2019) Applied biological control in Brazil: from laboratory assays to field application. **Journal of Insect Science** 19(2):1-6.

Price PW, Denno RF, Eubanks MD, Finke DL, Kaplan I (2011) **Insect Ecology: behavior, populations and communities**. New York: Cambridge University Press, p. 297-340

Ramalho FS (1994) Cotton pest management: Part 4. A Brazilian perspective. **Annual Review of Entomology** 39:563-578.

Ramsden MW, Kendall SL, Ellis SA, Berry PM (2017) A review of economic thresholds for invertebrate pests in UK arable crops. **Crop Protection** 96:30-43.

Rana N, Azam S, Riasat S, Ruqia G, Rasheed F, Kanwal S, Nargis S, Shabir A, Ali M, Iqbal MZ (2019) Prevalence of macro-invertebrate among cauliflower (*Brassica oleracea* var. *capitata*) and tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Blanco cv. Feutrell's early. **International Journal of Advances in Agriculture Sciences** 4:1-9.

Ren M, Shih C, Xing C, Ren D (2019) Dermaptera - Earwigs. In: Ren D, Shih CK, Gao T, Yao Y, Wang Y (Eds.) **Rhythms of insect evolution**. Hoboken: John Wiley & Sons. p. 149–156.

Ribeiro AL, Gontijo LM (2017) Alyssum flowers promote biological control of collard pests. **BioControl** 62:185-96.

Romeu-Dalmau C, Piñol J, Espadaler X (2012) Friend or foe? The role of earwigs in a Mediterranean organic citrus orchard. **Biological Control** 63:143-149.

Rossato Júnior JAS, Costa GHG, Madaleno LL, Mutton MJR, Higley LG, Fernandes OA (2013) Characterization and impact of the sugarcane borer on sugarcane yield and quality. **Agronomy Journal** 105:643– 648.

Roy S, Roy MM, Jaiswal AK, Baitha A (2018) Artrópodes do solo na manutenção da saúde do solo: áreas de impulso para sistemas de produção de cana-de-açúcar. **Sugar Tech** 20:1-16.

Salles JF, Baldani JI (1998) *Bacillus thuringiensis* como agente de controle biológico. Seropédica: Embrapa, 31 p.

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.

Scriber JM, Slansky Jr F (1981) The nutritional ecology of immature insects. **Annual Review of Entomology** 26:183-211.

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

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 (2009b) Aspectos biológicos de *Euborellia annulipes* sobre ovos de *Spodoptera frugiperda*. **Engenharia Ambiental** 6:482-495.

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 LM, Silva MC, Silva SMFA, Alves RC, Siqueira HAA Marques EJ (2018) Toxin gene contents and activity of *Bacillus thuringiensis* strains against two sugarcane borer species, *Diatraea saccharalis* (F.) and *D. flavipennella* (Box). **Neotropical Entomology** 47(2):292-301.

Singh P (1983) A general purpose laboratory diet mixture for rearing insects. **Insect Science and its Application** 4:357-362.

Singh P, Moore RF (1985) **Handbook of insect rearing**. Amsterdam: Elsevier 2:488 p.

Stutz S, Entling MH (2011) Effects of the landscape context on aphid-antpredator interactions on cherry trees. **Biological Control** 57(1):37-43.

Sueldo MR, Bruzzone OA, Virla EG (2010) Characterization of the earwig, *Doru lineare*, as a predator of larvae of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*: a functional response study. **Journal of Insect Science** 10:1–10.

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

Terán FO, Sanchez AG, Precetti AACM (1985) Estudos sobre resistência da cana à broca em telado – II. **Boletim Técnico Copersucar** 33:57-64.

Thompson SN, Simpson SJ (2009) Nutrition. In.: Resh V, Cardé R (Eds.) **Encyclopedia of insects**. Cambridge: Academic Press, p. 807-813.

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.

Vacari AM, De Bortoli SA, Borba DF, Martins MI (2012a) Quality of *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae) reared at diferente host densities and the estimate cost of its comercial production. **Biological Control** 63(2):102–106.

Vacari AM, De Bortoli SA, Torres JB (2012b) Relationship between predation by *Podisus nigrispinus* and developmental phase and density of its prey, *Plutella xylostella*. **Entomologia Experimentalis et Applicata** 145:30–37.

Vanderzant ES (1974) Defined diets for phytophagous insects. In.: Smith CN (Eds.) **Insect colonization and mass production**. New York: Academic Press, p. 273-303.

van Lenteren JC (2000) Critérios de seleção de inimigos naturais a serem usados em programas de controle biológico. Bueno VHP (Ed.) **Controle biológico de pragas: produção massal e controle de qualidade**. Lavras: UFLA, p. 1–19.

Walker C, Maciel CG, Milanesi PM, Muniz MFB, Mezzomo R, Pollet CS (2016) Caracterização morfológica, molecular e patogenicidade de *Fusarium acuminatum* e *Fusarium verticillioides* a *Cordia americana*. **Ciência Florestal** 26(2):463-473.

Wong JW, Kölliker M (2012) The effect of female condition on maternal care in the European earwig. **Ethology** 118:450-459.

CAPÍTULO 2 - Resposta de *Euborellia annulipes* ao estágio de desenvolvimento e à densidades populacionais de *Diatraea saccharalis*: implicações para o controle biológico

RESUMO - A broca da cana, *Diatraea saccharalis* (F.) (Lepidoptera: Crambidae), é considerada uma das principais pragas da cultura de cana-de-açúcar. A proibição das queimadas e a preservação da cobertura do solo por meio de práticas de plantio direto aumentaram as densidades populacionais de inimigos naturais da broca da cana nos canaviais. *Euborellia annulipes* (Lucas) (Dermaptera: Anisolabididae) é um predador encontrado em canaviais, podendo estar associado a predação de ovos e lagartas de *D. saccharalis* e ser um importante agente de controle biológico. Este trabalho teve como objetivo avaliar o consumo de ovos e de lagartas neonatas de *D. saccharalis* em função dos estágios de desenvolvimento de *E. annulipes*, em testes com e sem chance de escolha. Com o número total de presas consumidas registrou-se a taxa de predação média de ninfas e de adultos de *E. annulipes*, verificando-se a preferência alimentar e estimando-se o índice de preferência de Manly. Foi também avaliado a resposta funcional de ninfas de quarto e quinto ínstares, machos e fêmeas ao longo

de um período de 24 horas. A taxa média de predação foi maior com lagartas neonatas, sendo, consequentemente, a preferência alimentar da tesourinha por essa fase larval ($\beta = 0,98$). Os estágios mais avançados do predador (4º e 5º ínstar e adultos) consumiram mais presas (ovos e lagartas) e a resposta funcional foi alterada em função da fase do predador e da presa, sendo tipo III para fêmeas predando lagartas neonatas, onde o tempo de manipulação da presa foi menor. Os resultados indicam que *E. annulipes* possui um grande potencial como agente de controle biológico para ovos e larvas neonatas de *D. saccharalis* em todos os estágios ninfaís, bem como na fase adulta.

Palavras-chave: resposta funcional, índice de preferência, biocontrole, cana-de-açúcar, tesourinha.

Response of *Euborellia annulipes* to the life stage and populational densities of *Diatraea saccharalis*: implications for biological control

ABSTRACT - The sugarcane borer, *Diatraea saccharalis* (F.) (Lepidoptera: Crambidae), is considered one of the main pests of the sugarcane crop. The prohibition of burning and the preservation of soil cover through no-tillage practices have increased natural enemies populations of the sugarcane borer in the sugarcane crops. *Euborellia annulipes* (Lucas) (Dermaptera: Anisolabididae) is a predator found in sugarcane fields, and may be associated with predation of *D. saccharalis* eggs and newly reached larvae, and it can be an important biological control agent. This work aimed to evaluate the consumption of eggs and neonate larvae of *D. saccharalis* as a function of the developmental stages of the predator, in tests with and without chance to choice. With the total number of prey consumed, the average predation rate by nymphs and adults of *E. annulipes* were recorded, checking the food preference and estimating by Manly preference index. The functional response of fourth and fifth instar nymphs, male and female, was evaluated over a 24-hour period. The average

predation rate was higher newly reached larvae, and, consequently, the feeding preference of the earwig was for this development pest stage ($\beta = 0.98$). The more advanced stages of the predator (4^o and 5^o instars and adults) consumed more prey (eggs and larvae) and the functional response was altered depending on the phase of the predator and the prey, being type III for females preying on neonate larvae, where the prey's handling time was shorter. The results indicate that *E. annulipes* has great potential as a biological control agent for the immature stages (eggs and larvae) of *D. saccharalis*, in all its nymph and adults stages.

Keywords: functional response, preference index, biocontrol, sugarcane, earwig.

1. Introdução

A cana-de-açúcar é uma das culturas economicamente mais importante no Brasil, sendo os insetos-praga uma séria ameaça à sua produtividade. A broca da cana-de-açúcar, *Diatraea saccharalis* (F., 1794) (Lepidoptera: Crambidae), é uma das principais pragas da cultura devido ao fato de suas larvas construírem galerias no interior dos colmos, podendo levar plantas jovens à morte e diminuindo a produtividade de plantas mais velhas (Silva-Brandão et al., 2015; Bento et al., 2018).

No Brasil, o controle de *D. saccharalis* é baseado principalmente em ações utilizando o controle biológico, com o emprego do endoparasitoide larval *Cotesia flavipes* Cameron, 1891 (Hymenoptera: Braconidae) (Vacari et al., 2012a; Parra e Coelho, 2019). Este parasitoide é um dos agentes de biocontrole mais eficazes para *D. saccharalis* em razão da sua capacidade de forragear e localizar o hospedeiro no

colmo (Botelho e Macedo, 2002). No entanto, sua atuação se dá somente em lagartas já no interior do colmo (a partir do terceiro ínstar larval), ou seja, quando parte da planta já está danificada (Botelho, 1992; Cruz et al., 2011). Com isso, a busca por novos agentes de controle biológico para a broca nas fases imaturas é fundamental para a manutenção da densidade populacional da praga abaixo do nível de dano econômico.

Normalmente a redução da biodiversidade de artrópodes nos agroecossistemas está relacionada diretamente com o estabelecimento de algumas práticas agrônômicas, como o uso intensivo de produtos químicos, preparo do solo e a queima agrícola antes da colheita da cana-de-açúcar (Butler et al., 2007; Sandhu e Cherry, 2014). A queima de canaviais foi uma prática agrícola usada por muito tempo no Brasil, sendo proibida em algumas regiões desde 2014 (Bordonal et al., 2018). Com a redução da área de colheita com cana queimada tem ocorrido aumento da densidade populacional de inimigos naturais, resultando em uma melhoria significativa nas interações de artrópodes presentes nas áreas de produção (Santos et al., 2017; Roy et al., 2018).

As tesourinhas (Dermaptera) são predadores generalistas, relatadas em diversas culturas agrícolas com importância econômica e, têm sido consideradas como potenciais agentes de biocontrole em cana e associadas à predação de *D. saccharalis* em diferentes regiões do mundo, principalmente quando não há queima pré-colheita e/ou uso excessivo de outras práticas agrícolas, como o emprego de agroquímicos (Showler e Reagan 1991; Beuzelin et al., 2010; Franco et al., 2016; Roy et al., 2018; Orpet et al., 2019). *Euborellia annulipes* (Lucas, 1847) (Dermaptera: Anisolabididae) tem sido relatada de ocorrência em plantios de milho e cana-de-açúcar, se destacando como potencial predador de insetos-praga nessas culturas (Negm e Hensley, 1969; Moral et al., 2017). Embora esse inseto possa consumir lagartas de quarto ínstar de *D. saccharalis*, nessa fase os danos já foram causados na planta (Nunes et al., 2019b), sendo o uso de medidas de controle nas fases mais iniciais de desenvolvimento da praga (ovos e lagartas neonatas) fundamental, mas ainda pouco se conhece sobre o comportamento predatório desse predador nessas fases de desenvolvimento da broca da cana-de-açúcar.

Um dos requisitos para introduções de agentes de controle biológico no campo é a realização de estudos preliminares sobre a capacidade de predação, uma vez que diversos fatores podem influenciar no número de presas/hospedeiros atacados, implicando em mudanças em suas densidades populacionais ao longo de um determinado intervalo de tempo, o que normalmente pode ser conhecido com a realização de estudos sobre respostas funcionais (Solomon, 1949; Holling, 1959; Holling, 1966; Hassell et al., 1977). A resposta funcional pode ser usada para fornecer informações fundamentais sobre interações inimigo natural-presa/hospedeiro, avaliando-se a dinâmica populacional e a capacidade de supressão de presas/hospedeiros, podendo, assim, fornecer informações de como os inimigos naturais afetam as populações das pragas (Shah e Khan, 2013).

A resposta funcional de um predador pode ser caracterizada em três tipos: tipo I, onde a taxa de ataque é constante e independente da densidade de presa; tipo II, onde a taxa de ataque diminui gradualmente e é inversamente correlacionada com a densidade de presa; ou tipo III, onde a taxa de ataque aumenta inicialmente conforme a densidade da presa aumenta, então declinando gradualmente (Rogers, 1972; Kaçar et al., 2017). No entanto, vários fatores podem influenciar o tipo de resposta funcional de um predador, entre eles o tamanho e a fase da presa, e a fase de desenvolvimento do predador (Aljetlawi et al., 2004; Santos et al., 2016; Jalali e Ziaaddini, 2017). Dessa forma são necessários mais estudos que apoiem a compreensão dessas interações predador-presa, muito importantes para a adoção de um novo agente de controle biológico aplicado para *D. saccharalis*.

Nesse contexto, esse estudo teve como base as seguintes hipóteses: a fase de desenvolvimento de *D. saccharalis* afeta a predação de *E. annulipes* (1), assim como as condições de escolha e as densidades populacionais da presa (2); e as fases de desenvolvimento do predador respondem de forma diferente à predação (3).

Nesse sentido, os objetivos desse trabalho foram avaliar qual fase de desenvolvimento de *D. saccharalis* (ovo e lagarta neonata) é preferida e mais consumida por *E. annulipes* e qual fase do predador que é mais voraz, bem como as densidades populacionais que afetam a predação, possibilitando, assim, evidenciar o potencial dessa tesourinha como agente de controle biológico da broca da cana-de-açúcar.

2. Material e métodos

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

2.1. Obtenção do predador e da presa

Para este estudo foram utilizados diferentes ínstaes ninfais, machos e fêmeas de *E. annulipes* (predador) provenientes da criação estabelecida do LBCI, cujos insetos fundadores foram oriundos da criação do Laboratório de Entomologia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, Areia, Paraíba, Brasil. Ninfas foram agrupadas em recipientes plásticos circulares (9 cm de diâmetro $\times$ 15 cm de altura) em um total de 40 insetos/ recipiente (Figura 1A), enquanto os adultos foram mantidos em recipientes retangulares (13 cm $\times$ 20 cm $\times$ 7 cm) contendo 36 indivíduos (razão sexual 3:1) (Figura 1B). Cada recipiente continha em seu interior um substrato para refúgio – papel (tipo higiênico) – dobrado em formato de W, ou sanfonado, com cerca de 2 cm de largura, sendo umedecido a cada dois dias (Figura 1C). O alimento fornecido à *E. annulipes* consistia em uma dieta artificial à base de ração inicial para frangos (350 g), farelo de trigo (260 g), levedo de cerveja (220 g), leite em pó (130 g) e nipagin (40 g) (Silva et al., 2009a) disposta em tubos Eppendorf de 2 mL (Figura 1D). Após a oviposição, as fêmeas (14) foram separadas com seus ovos, para permitir realização do cuidado maternal (Figura 1D), permanecendo juntas até eclosão das ninfas (Butnariu et al., 2013).

Para a redução da endogamia das tesourinhas da colônia mantida em Jaboticabal, São Paulo, ninfas geradas a partir de dois casais coletados em plantios de cana-de-açúcar e café foram inseridos na criação em 2018 e 2019, respectivamente.

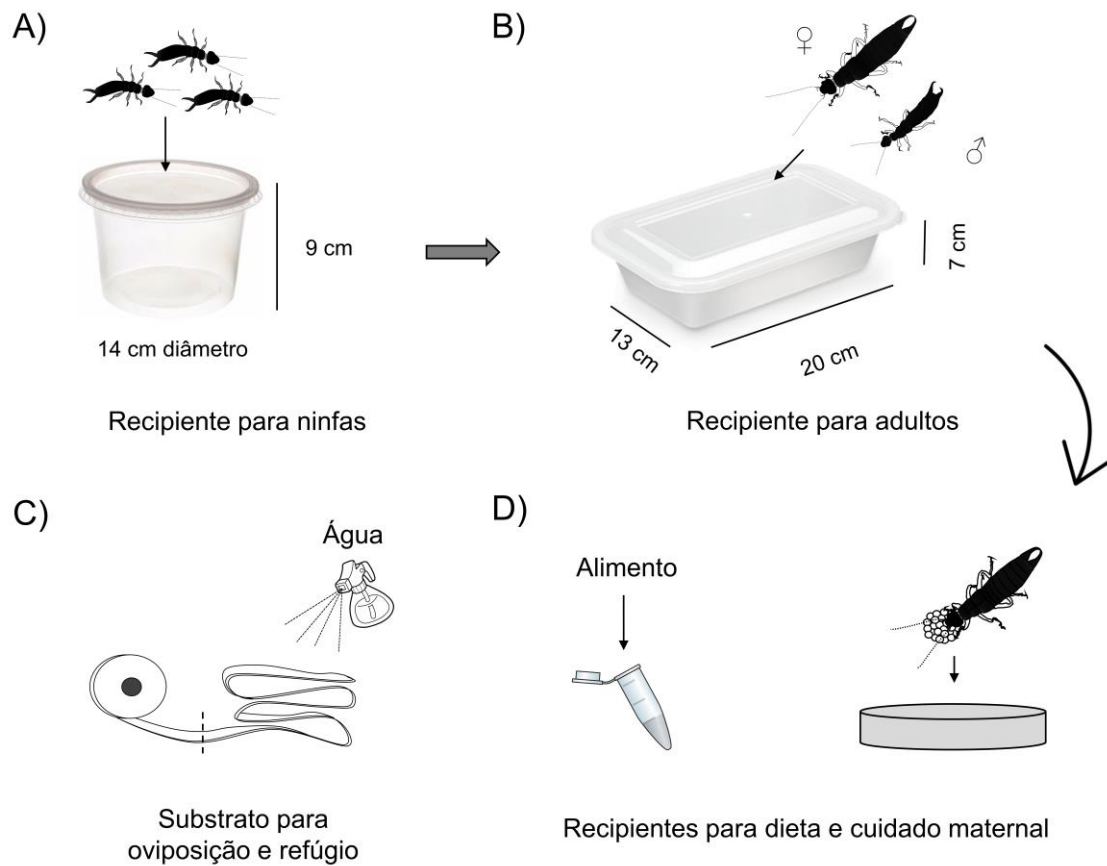


Figura 1 - Esquema da metodologia de criação de *Euborellia annulipes* em condições de laboratório. Recipientes usados para criação de A) ninfas e B) adultos; C) Substrato para refúgio dos insetos e oviposição; e D) recipientes para fornecimento de alimento e para o cuidado maternal. Fonte: Nunes (2020).

Os ovos e lagartas neonatas de *D. saccharalis* (presas) foram obtidos na biofábrica da Usina São Martinho, Pradópolis, São Paulo, Brasil, e mantidas de acordo com metodologia descrita por Vacari et al. (2012).

2.2. Taxa de predação média com e sem chance de escolha

Foram utilizados os diferentes ínstares ninfais (1º ao 5º ínstar), machos e fêmeas da *E. annulipes* em condições com e sem chance de escolha, onde era disponibilizado ao predador ovos e/ou lagartas neonatas *D. saccharalis*. Os predadores, sem alimentação por 12 horas, foram liberados no centro de arenas circulares representadas por placas de Petri (16 cm de diâmetro) divididas em

duas áreas iguais, contendo um círculo central para liberação do predador, sendo um predador/arena – contendo 100 presas, 50 ovos e 50 lagartas neonatas, em condição de escolha. Nos testes sem chance de escolha, 100 presas (ovos ou lagartas) foram liberadas aleatoriamente em arenas semelhantes. Avaliou-se o número de presas consumidas estimando-se o percentual médio de consumo 12 h após exposição às presas. Foram utilizadas 10 repetições para as diferentes fases do predador, para ambas as condições, com e sem chance de escolha.

2.3. Preferência alimentar

Todas as fases do predador foram submetidas a condição com chance de escolha (ovos e lagartas de *D. saccharalis*), sendo os resultados utilizados para a avaliação da preferência alimentar. Para tanto, determinou-se a taxa de predação média e estimou-se o índice de preferência de Manly (1974).

2.4. Resposta funcional

Para análise da resposta funcional foram utilizadas as fases mais vorazes do predador, de acordo com a taxa de predação previamente avaliada e que foram as ninfas de quarto e quinto ínstaes, os machos e as fêmeas. Foram fornecidos ovos e lagartas neonatas de *D. saccharalis* nas densidades populacionais baseadas em um pré-teste de 5, 10, 20, 40, 80, 160, 320 e 640. Cada grupo de presas foi fornecido ao predador em placas de Petri (16 cm de diâmetro e 5 cm de altura) uma única vez e sem a reposição de presas. Após 24 h de exposição, foi contabilizado o número de ovos e de lagartas consumidos. As ninfas e os adultos foram mantidos sem alimento durante 24 h, previamente ao início dos testes, sendo conduzidas 10 repetições para cada densidade de presa.

2.5. Análise estatística

Os experimentos para análises da taxa de predação média na condição sem chance de escolha foram organizados em delineamento inteiramente casualizado e

esquema fatorial 7×2 (fases do predador $\times$ fases da presa). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo os valores médios confrontados por meio dos testes de Scott-Knott e F ($P < 0,05$) utilizando-se o Proc GLM. Isso também foi realizado no teste com chance de escolha, sendo o índice de preferência de Manly estimado pela equação:

$$\beta = \frac{\log\left(\frac{e_1}{A_1}\right)}{\left[\log\left(\frac{e_1}{A_1}\right) + \log\left(\frac{e_2}{A_2}\right)\right]},$$

onde, β representa o índice de preferência pela presa; e_1 e e_2 referem-se aos números de presas que não foram consumidas durante o experimento; e A_1 e A_2 representam o número de presas consumidas pelo predador (A = ovos e B = lagartas neonatas). O valor 0,5 representa nenhuma preferência; valores $> 0,5$ indicam preferência pela presa A , enquanto valores $< 0,5$ preferência pela presa B . Este método leva em consideração o esgotamento da densidade de presas em virtude da predação, durante a avaliação experimental (Sherratt e Havey, 1993).

Baseado no número de presas consumidas (N_a), em função do número inicial de presas fornecidas (N_0), os dados da predação foram analisados para determinar o tipo de resposta funcional, que é baseado na regressão logística do número de presas consumidas por densidade, sendo empregado o Proc CATMOD (SAS Institute, 2015). A função polinomial que descreve a relação N_a/N_0 e N_0 foi obtida pela equação:

$$\frac{N_a}{N_0} = \frac{\exp(P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3)}{1 + (P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3)},$$

onde, N_a representa o número de presas consumidas, N_0 o número de presas fornecidas e P_0 , P_1 , P_2 e P_3 , sendo, respectivamente, os coeficientes constante, linear, quadrático e cúbico relacionados à inclinação da curva. Todos os parâmetros foram estimados usando a máxima verossimilhança. Se $P_1 > 0$ e $P_2 < 0$, a proporção de lagartas consumidas depende positivamente da densidade, indicando uma resposta funcional do tipo III. Se $P_1 < 0$, a proporção de lagartas consumidas declina monotonicamente com o número inicialmente oferecido, descrevendo assim uma resposta funcional do tipo II (Juliano, 2001). Inicialmente, o modelo cúbico foi testado,

mas os termos da equação foram reduzidos até que sua significância fosse obtida. O tipo de resposta funcional foi determinado a partir de regressão logística não linear usando o Proc NLIN (SAS Institute, 2015), com equação aleatória proposta por Rogers (1972):

$$N_a = N_0 \{1 - \exp [a(T_h N_a - T)]\} ,$$

$$N_a = N_0 \left\{ 1 - \exp \left[\frac{(d + bN_0)(T_h N_a - T)}{1 + cN_0} \right] \right\}$$

onde, N_a = número de presas consumidas; N_0 = número de presa fornecidas; T_h = tempo de manipulação; a = taxa de ataque; T = tempo de exposição do predador às presas (24 h); e b , c , d são as constantes da função que relaciona a e N_0 na resposta funcional tipo III: $a = (d + bN_0) / (1 + cN_0)$.

Os parâmetros a e T_h foram comparados a partir dos intervalos de confiança (IC 95%) gerados, sendo que se o IC não se sobrepõe, a diferença entre as médias é significativa ($P < 0,05$) (Nakagawa e Cuthill, 2007). Avaliou-se também a taxa máxima de predação T/T_h .

3. Resultados

3.1. Taxa de predação em diferentes condições de escolha

Houve um menor percentual de ovos consumidos em relação às lagartas neonatas de *D. saccharalis* por todos os estágios de desenvolvimento de *E. annulipes*, independente da condição de escolha ($F_{3,252} = 451,77$ $P < 0,0001$). Com chance de escolha, os ovos foram consumidos apenas por ninfas de quinto ínstar, e numa proporção média de 23%. Com lagartas neonatas não houve diferença no percentual de consumo entre as condições de escolha, no entanto, ninfas de segundo ínstar e machos se comportaram de forma diferente, consumindo mais lagartas na condição sem chance de escolha.

O predador apresentou variações no consumo entre os estágios de desenvolvimento ($F_{6,252} = 84,88$; $P < 0,0001$), com ninfas de primeiro e segundo ínstares consumindo menor percentual e fêmeas maior percentual de ovos, apenas

na condição sem chance de escolha. Predando lagartas neonatas, ninfas de primeiro ínstar apresentaram menor percentual de consumo, enquanto ninfas de quarto e quinto ínstaes, machos e fêmeas apresentaram maiores percentuais de consumo na condição sem chance de escolha. Já com chance de escolha, apenas fêmeas apresentaram maior percentual de consumo em relação às demais fases de desenvolvimento do predador (Tabela 1).

Tabela 1 - Percentual médio de predação ($\pm$ EP) de *Euborellia annulipes* em ovos e lagartas neonatas de *Diatraea saccharalis* durante 12 h, em teste de laboratório sem chance e com chance de escolha.

Predador	OSE	LNSE	OCE	LNCE
1º ínstar	1,90 $\pm$ 0,78 cB	27,20 $\pm$ 5,93 dA	-	16,50 $\pm$ 1,11 dA
2º ínstar	8,20 $\pm$ 3,25 cC	56,10 $\pm$ 2,80 cA	-	24,10 $\pm$ 1,85 dB
3º ínstar	39,80 $\pm$ 7,86 aB	68,10 $\pm$ 3,69 bA	-	67,40 $\pm$ 5,19 cA
4º ínstar	50,30 $\pm$ 6,52 aB	83,00 $\pm$ 2,89 aA	-	80,70 $\pm$ 2,63 bA
5º ínstar	32,40 $\pm$ 6,11 aB	91,30 $\pm$ 1,8 aA	23,20 $\pm$ 7,78 B	83,80 $\pm$ 3,85 bA
Machos	20,55 $\pm$ 4,18 bC	96,40 $\pm$ 1,01 aA	-	77,10 $\pm$ 8,12 bB
Fêmeas	48,25 $\pm$ 5,28 aB	95,00 $\pm$ 1,59 aA	-	96,60 $\pm$ 1,04 aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não difere significamente pelos testes de Scott-Knott e Student-Newman-Keuls ($P < 0,001$), respectivamente. OSE = ovos em condição sem chance de escolha; LNSE = lagartas neonatas em condição sem chance de escolha; OCE = ovos em condição com chance de escolha; LNCE = lagartas neonatas em condição com chance de escolha.

3.2. Preferência alimentar

O índice de preferência de Manly (β) confirmou a preferência alimentar de *E. annulipes* por lagartas neonatas ($\beta = 1,0$). Mesmo consumindo ovos, houve diferença estatística para o valor do índice em ninfas de quinto ínstar ($t = 4,86$; $P < 0,0001$), confirmando também a preferência alimentar por lagartas neonatas ($\beta = 0,98$).

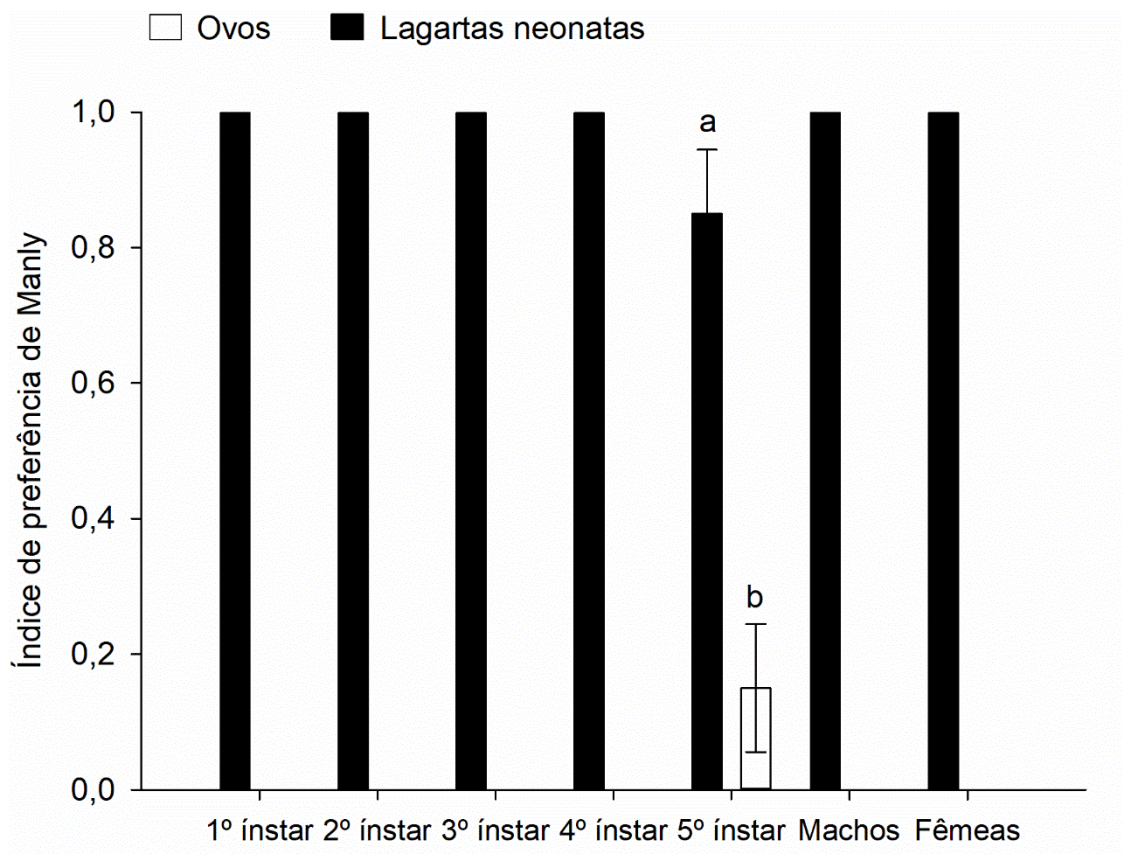


Figura 1 - Índice de preferência de Manly (β) $\pm$ EP para os estágios de desenvolvimento de *Euborellia annulipes* consumindo ovos e lagartas neonatas de *Diatraea saccharalis*, em condições de laboratório ao longo de um período de 12 h. Letras minúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas pelo teste *t* ($P < 0,005$).

3.3. Resposta funcional

De acordo com a regressão logística polinomial, a resposta funcional de *E. annulipes* foi do tipo II, tanto para os ínstaes ninfais quanto para machos, com ovos e lagartas neonatas da broca da cana. No entanto, a resposta funcional de fêmeas variou em função da fase da presa, sendo do tipo II com ovos e do tipo III com lagartas neonatas (Tabela 2). Foi possível observar que ninfas de quinto ínstar e fêmeas foram mais vorazes em densidades maiores, consumindo 380 e 440 lagartas em 24 h, respectivamente. Além disso, o maior consumo de lagartas neonatas em relação a ovos foi bem expressivo, principalmente quando houve aumento da densidade populacional da praga (Figura 2).

Tabela 2. Parâmetros da regressão logística estimados para a predação de *Euborellia annulipes* em ovos e lagartas neonatas de *Diatraea saccharalis* em teste de laboratório, durante 24 h.

Presa	Predador	Parâmetros	Estimado	EP	χ^2	<i>P</i>
Ovos	4º ínstar	Intercepto	0,8311	0,108	59,51	< 0,001
		Linear	-0,0122	0,002	42,01	< 0,001
		Quadrático	0,000056	7,966e-6	48,98	< 0,001
	5º ínstar	Intercepto	3,1059	0,1986	244,56	< 0,001
		Linear	-0,0143	0,0030	23,51	< 0,001
		Quadrático	0,000019	0,00001	2,98	0,0843
	Machos	Intercepto	4,8116	0,2995	258,13	< 0,001
		Linear	-0,0436	0,0411	112,57	< 0,001
		Quadrático	0,00011	0,00002	50,12	< 0,001
	Fêmeas	Intercepto	4,6630	0,2749	284,08	< 0,001
		Linear	-0,0415	0,0037	127,18	< 0,001
		Quadrático	0,00013	0,000013	88,67	< 0,001
Lagartas neonatas	4º ínstar	Intercepto	5,8147	0,2783	436,54	< 0,0001
		Linear	-0,0245	0,00152	257,38	< 0,0001
		Quadrático	0,00002	1,77e-6	177,00	< 0,0001
	5º ínstar	Intercepto	5,7351	0,2921	385,45	< 0,0001
		Linear	-0,0221	0,0016	190,82	< 0,0001
		Quadrático	0,00002	1,86e-6	134,06	< 0,0001
	Machos	Intercepto	8,546	0,574	221,57	< 0,0001
		Linear	-0,083	0,007	137,37	< 0,0001
		Quadrático	0,00024	0,00002	100,44	< 0,0001
	Fêmeas	Intercepto	2,855	0,345	68,28	< 0,0001
		Linear	0,0349	0,00004	16,37	< 0,0001
		Quadrático	-0,00016	3,781e-6	19,43	< 0,0001
		Cúbico	1,592e-7	3,754e-8	17,99	< 0,0001

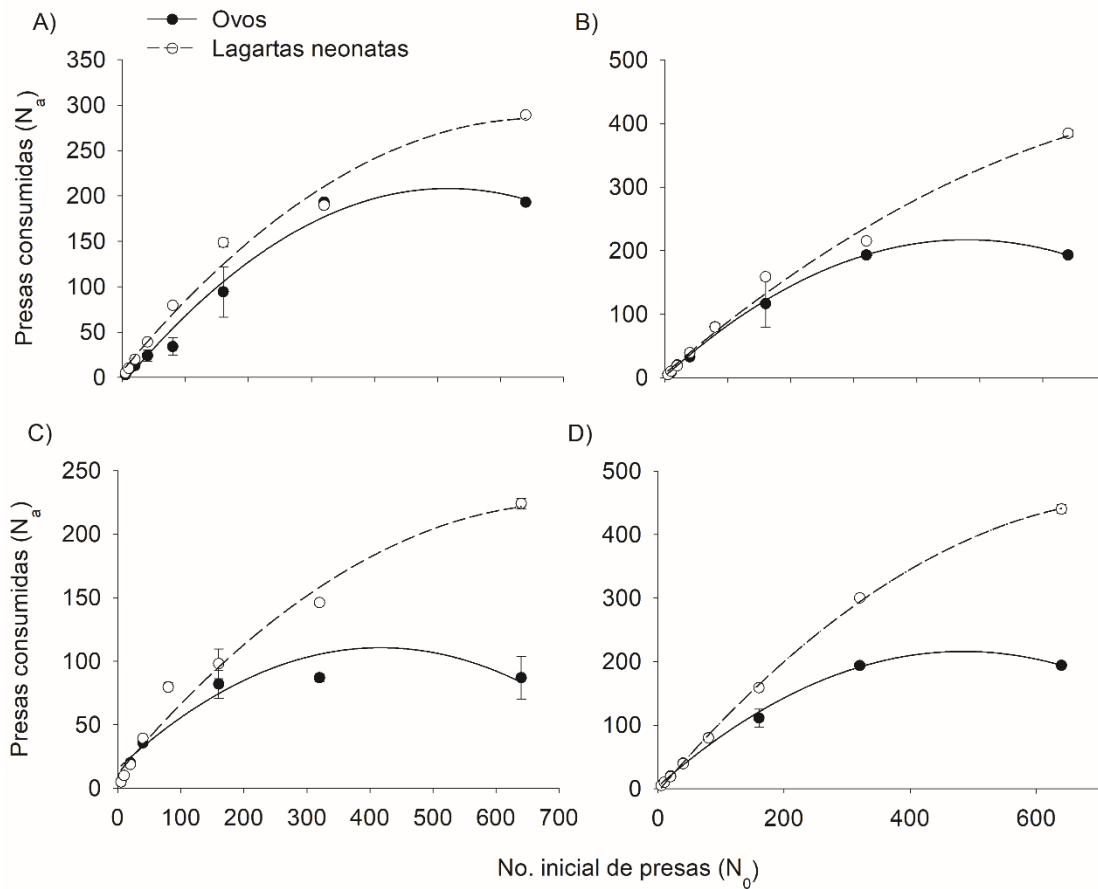


Figura 2 - Número médio ($\pm$ EP) de ovos e de lagartas neonatas de *Diatraea saccharalis* consumidos (N_a) por ninfas de quarto ínstar (A), ninfas de quinto ínstar (B), por machos (C) e por fêmeas (D) de *Euborellia annulipes*, em função da densidade de presas fornecida inicialmente (N_0), durante 24 h.

A taxa de ataque (a') de *E. annulipes* para ovos e larvas neonatas de *D. saccharalis* variou entre as fases do predador, com ninfas de quarto e quinto ínstares apresentando menor a' com lagartas neonatas e machos com ovos. As fêmeas não apresentaram diferenças significativas em relação a ovos e larvas neonatas da presa. Os valores de T_h foram menores com lagartas neonatas para ninfas de quinto ínstar, machos e fêmeas do predador (Tabela 3).

Comparando as fases de desenvolvimento da tesourinha verifica-se que ninfas de quarto ínstar apresentaram menor valor para a' com ovos de *D. saccharalis*, sendo maior para machos, enquanto que com lagartas neonatas não houve diferença significativa. Tempo de manipulação (T_h) maior com ovos foi observado para machos

(0,335 h), sendo que as fêmeas apresentaram menor T_h com lagartas neonatas (0,046 h). A taxa máxima de predação (T/T_h) com ovos e com lagartas neonatas de *D. saccharalis* foi menor para machos de *E. annulipes*, enquanto as fêmeas apresentaram maior T/T_h predando lagartas neonatas (Tabela 3).

Tabela 3 - Taxa de ataque (a'), tempo de manipulação (T_h) e taxa média de predação (T/T_h) de *Euborellia annulipes* com ovos e lagartas neonatas de *Diatraea saccharalis*, em teste de laboratório, durante 24 h.

Predador	Ovos			Lagartas neonatas		
	a' (h^{-1})	T_h (h)	T/T_h	a' (h^{-1})	T_h (h)	T/T_h
4º instar	$0,00046 \pm 0,0001$ dB (0,0003 – 0,0006)	$0,111 \pm 0,009$ bA (0,094 – 0,128)	216,2 aA	$0,002 \pm 0,0001$ aA (0,001 – 0,003)	$0,094 \pm 0,003$ bA (0,089 – 0,099)	255,3 bA
5º instar	$0,003 \pm 0,0008$ cB (0,0008 – 0,004)	$0,147 \pm 0,013$ bA (0,121 – 0,173)	163,3 aB	$0,634 \pm 0,473$ aA (0,313 ± 1,581)	$0,111 \pm 0,001$ aB (0,109 – 0,113)	216,2 Ba
Machos	$0,011 \pm 0,002$ aA (0,008 – 0,015)	$0,335 \pm 0,002$ aA (0,331 – 0,338)	71,6 bB	$0,002 \pm 0,0004$ aB (0,001 – 0,003)	$0,131 \pm 0,006$ aB (0,119 – 0,143)	183,2 Ca
Fêmeas	$0,002 \pm 0,0003$ bA (0,0012 – 0,0024)	$0,126 \pm 0,005$ bA (0,116 – 0,136)	190,5 aB	$0,002 \pm 0,005$ aA (-0,007 – 0,011)	$0,046 \pm 0,002$ cB (0,041 – 0,051)	521,7 Aa

Letras minúsculas na coluna (fases do predador) e maiúsculas nas linhas (fases da presa) iguais indicam que não há diferenças estatísticas pelos intervalos de confiança (95% IC).

a' (h^{-1}) – Taxa de ataque

T_h (h) – Tempo de manuseio

T/T_h – Taxa média de predação

4. Discussão

Neste trabalho verificou-se que todas as fases de desenvolvimento de *E. annulipes* forragearam primeiro as lagartas neonatas em relação aos ovos de *D. saccharalis*, apresentando preferência alimentar por esta fase de desenvolvimento da presa. Além disso, os resultados comprovaram que os estágios mais avançados do predador consomem mais presas e que as diferentes fases da presa alteram o comportamento predatório de fêmeas de *E. annulipes*, inclusive alterando o tipo de resposta funcional, com o tempo de manipulação diminuindo quando a predação ocorre com lagartas neonatas, em relação aos ovos.

Quanto a taxa de predação de lagartas neonatas e de ovos de *D. saccharalis* por *E. annulipes*, com e sem chance de escolha, observou-se que os estágios mais avançados do predador consumiram mais presas, sendo esse resultado já esperado, pois pressupõe-se que ocorra maior exigência nutricional (quantitativa e qualitativa),

maior habilidade no manuseio da presa e um comportamento mais agressivo nos últimos ínstaes e na fase adulta do predador, como mencionado por Mendes et al. (2002) e Ribeiro e Gontijo (2017). Este comportamento em estádios ninfais mais avançados e em adultos é comum para os predadores em geral (Ragkou et al., 2004), o que também foi observado para larvas de terceiro ínstar de *Chrysoperla carnea* (Stephens, 1836) (Neuroptera: Chrysopidae) predando ninfas de *Bactericera cockerelli* (Sulc, 1909) (Hemiptera: Triozidae) (Cerna et al., 2012).

A agressividade dos predadores é um comportamento fundamental para a redução da população de insetos-praga, sendo que algumas espécies, inclusive, apenas matam a presa sem consumi-la, o que é hábito característico de um predador com potencial predatório como as tesourinhas (Moral et al., 2017). O fato de *E. annulipes* apenas matar a presa sem a consumir não foi quantificado nessa pesquisa, mas em alguns casos foi observado que o predador apenas matou lagartas neonatas, principalmente em condições de altas densidades da presa, comportamento que ocorre, provavelmente, em virtude da movimentação da presa, associado à detecção e agressividade do predador (Nunes et al., 2019c; Nunes et al., 2020b).

Devido à voracidade e ao forrageamento serem características comuns aos predadores, pode-se explicar a preferência alimentar de *E. annulipes* por lagartas neonatas, como foi observado em todos os ínstaes nos testes com chance de escolha. A preferência por lagartas de *Plutella xylostella* (L., 1758) (Lepidoptera: Plutellidae) em comparação a pupas foi observado para esse predador, fato possivelmente associado a movimentação da presa (Nunes et al., 2019a). Outros predadores, como por exemplo o percevejo *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Hemiptera: Pentatomidae), podem optar por consumir presas que se movimentam (Vacari et al., 2012; Santos et al., 2016), assim como podem ser influenciados pela dureza do cório e/ou imobilidade do ovo, como observado por Huang e Enkegaard (2010) com *C. carnea*.

De acordo com a hipótese proposta, os consumos de ninfas e de machos adultos aumentaram quando as densidades populacionais de lagartas neonatas e ovos de *D. saccharalis* também aumentaram, levando às respostas funcionais do tipo II. Para predadores de insetos este tipo de resposta é a mais comum (Holling, 1966) e, ainda que existam poucos estudos com tesourinhas, respostas do tipo II já foram

relatadas para essa e outras espécies de Dermaptera predando lagartas de lepidópteros (Kharboutli e Mack, 1993; Sueldo et al., 2010; Nunes et al., 2019a). Predadores com este tipo de resposta funcional apresentam boas perspectivas para serem usados em programas de controle biológico inundativo (van Lenteren, 2012).

A taxa de ataque de *E. annulipes* predando ovos e lagartas neonatas de *D. saccharalis* variou entre as fases do predador, assim como o tempo de manipulação, que foi menor com lagartas neonatas. É provável que mesmo consumindo uma presa, a detecção poderá reduzir o tempo de manuseio de *E. annulipes*, porque o movimento das lagartas estimula seu ataque (Nunes et al., 2019b), enquanto a imobilidade dos ovos pode ter influenciado negativamente no comportamento de forrageamento do predador, como mencionado por Huang e Enkegaard (2010). Por outro lado, a resposta funcional das fêmeas variou em função da fase da presa, sendo do tipo II com ovos e do tipo III com lagartas neonatas. Predadores que apresentam resposta funcional tipo III têm um aumento exponencial do consumo com consequente supressão da presa nas densidades mais baixas (Jalali et al., 2010).

Os tipos de respostas funcionais podem ser afetados por vários fatores, como o tamanho (Aljetlawi et al., 2004) e o comportamento defensivo da presa (movimento), ou ainda a satisfação alimentar do predador (Botteon et al., 2017), além da fase da presa. Para *E. annulipes* foi relatado que a temperatura e a contaminação de presas por fungos alteram a resposta funcional, mudando do tipo II para o III (Nunes et al., 2019c; Nunes et al., 2020).

Predadores com resposta funcional tipo III aparentam ser menos hábeis em capturar as presas em densidades mais baixas e, consequentemente, quando conseguem identificar a presa, aprendem a capturar mais eficientemente tornando-se mais vorazes (Speight, 1996). Provavelmente, fêmeas adultas, por serem bem maiores comparadas às ninfas de quarto e quinto ínstar e machos adultos, podem não ter a mesma habilidade de detectar e manipular a presa (lagartas neonatas) em baixas densidades, dificultando assim a captura com os cercos.

Este estudo apresenta uma situação explorada em condições de laboratório, sendo que em condições de campo diversos fatores podem impedir ou dificultar o comportamento de forrageamento e o alcance das presas por um predador, como a localização das lagartas de *D. saccharalis* no colmo da cana-de-açúcar. No entanto,

o encontro da presa pode ser facilitado pelas características morfológicas e aspectos comportamentais de *E. annulipes*, incluindo sua forma corporal telescópica, achatada e móvel, bem como a capacidade de exploração das plantas em busca de alimento (Klostermeyer, 1942; Abramson et al., 2007).

Euborellia annulipes em todos os seus íntares até a fase adulta apresentou potencial como agente de controle de *D. saccharalis*, agindo nas fases iniciais de desenvolvimento da praga (ovos e lagartas neonatas). Além disso, a presença das tesourinhas nos canaviais, o hábito alimentar generalista, a capacidade de exploração do ambiente em busca de alimento e a agressividade predatória (Klostermeyer, 1942; Abramson et al., 2007; Moral et al., 2017; Santos et al., 2017) podem contribuir para a manutenção e atividade desse inimigo natural em plantios de cana-de-açúcar. No entanto, ainda são necessários mais estudos para melhor compreensão do seu comportamento como agente de biocontrole de *D. saccharalis* nos canaviais.

Os resultados deste trabalho indicam que estudos com tesourinhas devem ser intensificados e aprofundados, uma vez que essas espécies, particularmente *E. annulipes*, apresentam bom potencial para aplicação no controle biológico aplicado. Deve também ser destacado a facilidade de criação desse predador com dietas artificiais em laboratório, o que pode embasar futuras pesquisas de criação massal visando a liberação e/ou manutenção do predador nos canaviais.

O entendimento da ação dos inimigos naturais pode subsidiar o controle biológico conservativo e as teorias de manejo ambiental de pragas (Coll e Wajnberg, 2017), facilitando a tomada de decisão sobre as liberações desses agentes de controle biológico nas plantações de cana-de-açúcar (Vacari et al., 2012).

5. Conclusão

Há preferência alimentar de *E. annulipes* por lagartas neonatas de *D. saccharalis*, com os ínstares mais avançados do predador apresentando maior taxa de predação. O tipo de presa associado à densidade de ovo e de lagartas neonatas de *D. saccharalis* altera a resposta funcional de fêmeas adultas, resultando também em diminuição no tempo de manipulação.

6. Referências

- Abramson CI, Wanderley PA, Miná AJS, Wanderley MJA (2007) Capacity of earwig *Marava arachidis* (Yersin) to access fennel plants *Foeniculum vulgare* Mill in laboratory and field. **Ciência Rural** 37:1524–1528.
- Aljetlawi AA, Sparrevik E, Leonardsson K (2004) Prey-predator size-dependent functional response: derivation and rescaling to the real world. **Journal of Animal Ecology** 73:239–252.
- Bento CB, Filoso S, Pitombo LM, Cantarella H, Rossetto R, Martinelli LA, Carmo JB (2018) Impacts of sugarcane agriculture expansion over low-intensity cattle ranch pasture in Brazil on greenhouse gases. **Journal of Environmental Management** 206:980–988.
- 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.
- Bordonal RO, Carvalho JLN, Lal R, Figueiredo EB, Oliveira BG, La Scala N (2018) Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. **Agronomy for Sustainable Development** 38(2):1-23.
- Botelho PSM (1992) Quinze anos de controle biológico da *Diatraea saccharalis* utilizando parasitóides. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 27(13):255-262.
- Botelho PSM, Macedo N (2002) *Cotesia flavipes* para controle de *Diatraea saccharalis*. In: Parra JRP, Botelho PSM, Corrêa-Ferreira BS, Bento JMS (Eds.) **Controle biológico no Brasil: parasitoides e predadores**. São Paulo: Manole, p. 409-425.
- Botteon VW, Neves JA, Godoy WAC (2017) Functional response and matrix population model of *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Hemiptera: Pentatomidae) fed on *Chrysomya putoria* (Wiedemann, 1818) (Diptera: Calliphoridae) as alternative prey. **Neotropical Entomology** 46:137–143.
- Butler SJ, Vickery JA, Norris K (2007) Farmland biodiversity and the footprint of agriculture. **Science** 315:381–384.

Cerna E, Ail C, Landeros J, Sánchez S, Badii M, Aguirre L, Ochoa Y (2012) Comparison of toxicity and selectivity of the pest *Bactericera cockerelli* and its predator *Chrysoperla carnea*. **Agrociencia** 46:783–793.

Coll M, Wajnberg E (2017) **Environmental pest management**: challenges for agronomists, ecologists, economists and policymakers. New York: John Wiley and Sons, 448 p.

Cruz I, Redoan AC, Silva RB, Figueiredo MLC, Penteado-Dias AM (2011) Novo registro de *Tetrastichus howardi* (Olliff) como parasitóide de *Diatraea saccharalis* (Fabr.) em milho. **Scientia Agricola** 68:252–254.

Franco ALC, Bartz MLC, Cherubin MR, Baretta D, Cerri CEP, Feigl BJ, Cerri CC (2016) Loss of soil (macro) fauna due to the expansion of Brazilian sugarcane acreage. **Science of the Total Environment** 63:160-168.

Hassell MP, Lawton JH, Beddington JR (1977) Sigmoid functional responses by invertebrate predators and parasitoids. **The Journal of Animal Ecology** 46(1):249-262.

Holling CS (1959) Some characteristics of simple types of predation and parasitism. **The Canadian Entomologist** 91:385-398.

Holling CS (1966) The functional response of invertebrate predators to prey density. **Memoirs of the Entomological Society of Canada** 98:5–86.

Huang N, Enkegaard A (2010) Predation capacity and prey preference of *Chrysoperla carnea* on *Pieris brassicae*. **BioControl** 55:379–385.

Jalali MA, Tirry L, De Clercq P (2010) Effect of temperature on the functional response of *Adalia bipunctata* to *Myzus persicae*. **BioControl** 55:261–269.

Jalali MA, Ziaaddini M (2017) Effects of host plant morphological features on the functional response of *Adalia bipunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) to *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). **International Journal of Pest Management** 63:309-315.

Kaçar G, Wang XG, Biondi A, Daane KM (2017) Linear functional response by two pupal *Drosophila* parasitoids foraging within single or multiple patch environments. **PLoS ONE** 12:1–17.

Kharboutli MS, Mack TP (1993) Effect of temperature, humidity, and prey density on feeding rate of the striped earwig (Dermaptera, Labiduridae). **Environmental Entomology** 22:1134–1139.

Klostermeyer EC (1942) The life history and habits of the ringlegged earwig, *Euborellia annulipes* (Lucas) (Order Dermaptera). **Journal of the Kansas Entomological Society** 15(1):13–18.

Manly BFJ (1974) A model for certain types of selection experiments. **Biometrics** 30(2):281–294.

Mendes SM, Bueno VHP, Argolo VM, Silveira LCP (2002) Type of prey influences biology and consumption rate of *Orius insidiosus* (Say) (Hemiptera, Anthocoridae). **Revista Brasileira de Entomologia** 46:99–103.

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.

Nakagawa S, Cuthill IC (2007) Effect size, confidence interval and statistical significance: a practical guide for biologists. **Biological Reviews** 82(4):591–605.

Negm AA, Hensley SD (1969) Evaluation of certain biological control agents of the sugarcane borer in Louisiana. **Journal of Economic Entomology** 62:1008–1013.

Nunes GS, Dantas TAV, Souza MS, Nascimento IN, Batista JL, Malaquias JB (2019a) Life stage and population density of *Plutella xylostella* affect the predation behavior of *Euborellia annulipes*. **Entomologia Experimentalis et Applicata** 167:544–552.

Nunes GS, Ramalho DG, Santos NA, Truzzi CC, Vieira NF, Cardoso CP, De Bortoli SA (2019b) Parasitism-mediated interactions between the ring-legged earwig and sugarcane borer larvae. **Neotropical Entomology** 48:919–926.

Nunes GS, Truzzi CC, Nascimento J, Paula FF, Matos STS, Polanczyk RA, De Bortoli SA (2019c) *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales)-treated diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) larvae mediate the preference and functional response of *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae) nymphs. **Journal of Economic Entomology** 112:2614–2619.

Nunes GS, Truzzi CC, Cardoso CP, Vieira NF, Ramalho DG, Souza JM, De Bortoli SA (2020) Temperature-dependent functional response of *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae) preying on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) larvae. **Journal of Thermal Biology** 93:102686.

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.

Parra JRP, Coelho A (2019) Applied biological control in Brazil: from laboratory assays to field application. **Journal of Insect Science** 19(2):1-6.

Ragkou VS, Athanassiou CG, Kavallieratos NG, Tomanović Ž (2004) Daily consumption and predation rate of different *Stethorus punctillum* instars feeding on *Tetranychus urticae*. **Phytoparasitica** 32:154–159.

Ribeiro AL, Gontijo LM (2017) Alyssum flowers promote biological control of collard pests. **BioControl** 62:185–196.

Rogers D (1972) Random search and insect population models. **The Journal of Animal Ecology** 41(2):369-383.

Roy S, Roy MM, Jaiswal AK, Baitha A (2018) Soil arthropods in maintaining soil health: thrust areas for sugarcane production systems. **Sugar Tech** 20:376–391.

Sandhu HS, Cherry RH (2014) Effects of tillage practices on arthropod ground predators in Florida sugarcane. **Journal of Entomological Science** 49:415–419.

Santos BDB, Ramalho FS, Malaquias JB, Lira ACS, Pachú JKS, Fernandes FS, Zanuncio JC (2016) How predation by *Podisus nigrispinus* is influenced by developmental stage and density of its prey *Alabama argillacea*. **Entomologia Experimentalis et Applicata** 158:142–151.

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** 100:134–144.

SAS Institute (2015) **SAS/IML® User's Guide**. SAS Institute, Cary, NC, USA.

Shah MA, Khan AALI (2013) Functional response - a function of predator and prey species. **The Bioscan** 8:751–758.

Sherratt TN, Harvey IF (1993) Frequency-dependent food selection by arthropods: a review. **Biological Journal of the Linnean Society** 48:167–186.

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

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

Silva-Brandão KL, Santos TV, Cônsoli FL, Omoto C (2015) Genetic diversity and structure of brazilian populations of *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae): implications for pest management. **Journal of Economic Entomology** 108:307–316.

Solomon ME (1949) The natural control of animal populations. **The Journal of Animal Ecology** 18:1-35.

Speight MCD (1996) Syrphidae (Diptera) of central France. **Volucella** 2:20-34.

Sueldo MR, Bruzzone OA, Virla EG (2010) Characterization of the earwig, *Doru lineare*, as a predator of larvae of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*: a functional response study. **Journal of Insect Science** 10:1–10.

Vacari AM, De Bortoli SA, Borba DF, Martins MI (2012) Quality of *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae) reared at diferente host densities and the estimate cost of its comercial production. **Biological Control** 63(2):102–106.

van Lenteren JC (2012) The state of commercial augmentative biological control: plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. **BioControl** 57:1–20.

CAPÍTULO 3 – Aspectos biológicos comparados e custos de produção de *Euborellia annulipes* em dietas artificial e natural

RESUMO - A tesourinha *Euborellia annulipes* Lucas, 1847 (Dermaptera: Anisolabididae) é um predador que tem grande potencial para ser utilizado no Manejo Integrado de Pragas – MIP por ter características bioecológicas importantes para seu uso no controle biológico aplicado de pragas agrícolas. No entanto, são escassos os estudos que descrevem de forma detalhada e replicável o uso de dietas artificiais e/ou dieta natural que proporcionem um desenvolvimento biológico adequado para esse predador, bem como estudos que avaliem o seu custo de produção em laboratório. Neste contexto, o objetivo desse estudo foi avaliar e comparar os parâmetros de desenvolvimento do inseto criado em duas dietas artificiais e uma natural. As dietas utilizadas foram: 1-) D₁ – artificial utilizada na criação de rotina do laboratório; 2-) D₂ - artificial formulada apenas com ração inicial para frango de corte; e 3-) D₃ - natural à base de ovos de *Diatraea saccharalis* com até três dias de desenvolvimento embrionário. A duração e a sobrevivência das ninfas de *E. annulipes* não foi diretamente afetada pelas dietas, ocorrendo redução no período ninfal total quando o predador consumiu a dieta D₃. Os adultos que se alimentaram da dieta D₃ apresentaram menor longevidade, com os machos vivendo menos que as fêmeas, independentemente da alimentação. Ninfas de segundo e terceiro ínstar apresentaram maiores pesos quando consumiram as dietas D₂ e D₃, enquanto os machos apresentaram menor peso em relação às fêmeas consumindo as três dietas.

A fecundidade das fêmeas alimentadas com a dieta D₃ foi menor do que com D₁ e D₂. O número de ovos por postura e a fertilidade foram semelhantes nos três substratos alimentares. A alimentação do predador não influenciou na taxa líquida de reprodução (R_0) e os valores do tempo médio de geração (T), indicando que *E. annulipes* pode apresentar em média três gerações por ano quando consomem as dietas D₁ e D₂, com valores positivos para a razão finita de aumento (λ) ($>1,0$) e a taxa intrínseca de aumento (r_m). As dietas testadas permitiram o desenvolvimento e obtenção de adultos de predador, sendo que o menor custo de produção de *E. annulipes* foi obtido com a dieta D₁ (R\$ 0,0004/indivíduo), seguido da D₂ (R\$ 0,0006), consequentemente com o maior custo com a D₃ (R\$ 5,64), concluindo-se que a dieta mais adequada para a criação deste inseto seria a D₁.

Palavras-chave: dieta artificial, dieta natural, criação de insetos, custo de produção, tesourinha

Biological aspects compared and production costs of *Euborellia annulipes* reared on artificial and natural diets

ABSTRACT – The earwig *Euborellia annulipes* Lucas, 1847 (Dermaptera: Anisolabididae) is a predator that has great potential to be used in Integrated Pest Management – IPM, in function of its important bioecological characteristics for its use in applied biological control of agricultural pests. However, there are few studies that describe in detail the use of artificial diets and/or natural diet that provide an adequate biological development for this predator, as well as studies that assess the cost of its production in the laboratory. In this context, the aim of this study was to evaluate and compare the development parameters of the insect reared on two artificial diets and a natural one. The diets used were: 1-) D₁ – artificial used in the reared routine of the laboratory; 2-) D₂ – artificial formulated with broiler starter feed only; and 3-) D₃ - natural based on *D. saccharalis* eggs with up to three days of embryonic development. The nymphal period and its survival were not directly affected by the diets, but there was a reduction in the total nymph period when the predator consumed the D₃ diet. Adults fed on D₃ diet had shorter longevity, with males living less than females, regardless of feeding. Second and third instar nymphs had higher weights when consuming diets D₂ and D₃, while males had lower weight compared to females with all diets. The fecundity of females fed on diet D₃ was lower than with diets D₁ and D₂. The number of eggs per laying and fertility were similar in the three treatments (diets). Predator feeding did not influence the net reproduction rate (R_0) and the mean generation time (T) values indicated that *E. annulipes* can present an average of three generations per year when consuming D₁ and D₂ diets, with positive values for the finite rate of increase (λ) (>1.0) and the intrinsic rate of increase (r_m). The tested diets allowed the development, and

the lowest cost of production of *E. annulipes* was obtained with diet D₁ (R\$0.0004/individual), followed by D₂ (R\$0.0006), consequently with the highest cost with D₃ (R\$ 5.64), concluding that the most suitable diet for rearing this insect is D₁.

Keywords: artificial diet, natural diet, insect rearing, production cost, earwig

1. Introdução

Euborellia annulipes (Lucas, 1847) (Dermaptera: Anisolabididae) é um inseto que apresenta comportamentos interessantes, seja quanto a forma de alimentação, como em outras características biológicas como o cuidado parental com a prole. Apesar de ser considerado onívoro, alimentando-se também de tecidos vegetais, tem sido apontado como um importante predador, com potencial para o controle biológico de artrópodes-praga de diferentes culturas de importância econômica, destacando-se por ter alta capacidade predatória e possuir ampla distribuição geográfica (Ramalho, 1994; Urbaneja et al., 2006; Kočárek et al., 2015; Bourne et al., 2019). Esta espécie de predador pode se alimentar de diferentes presas e em diferentes fases de desenvolvimento, sendo mais eficazes no controle de insetos-praga nas fases imaturas, (ovos e formas jovens - ninfas e larvas), principalmente de lepidópteros (Costa et al., 2007).

Devido a crescente utilização de agentes de controle biológico (predadores e/ou parasitoides) e a necessidade de produção desses indivíduos em larga escala, definir metodologias de criação têm sido um dos principais desafios dos pesquisadores da área, principalmente em função da diversidade e especificidade de

cada espécie (Cohen, 2015). A manutenção de populações de insetos em laboratório pode ser feita com dietas naturais ou artificiais, sendo que *E. annulipes* vem sendo criada em laboratório para estudos científicos e alimentada com dietas artificial e natural, tendo alguns estudos avaliado e obtido bons resultados para o desenvolvimento do predador tanto em dietas artificiais, como em naturais (Lemos et al., 2003; Silva et al., 2009b e 2010). Entretanto, ainda pouco se sabe sobre o efeito de diferentes dietas artificiais, comparadas com dietas naturais, sendo que raros estudos avaliaram o desenvolvimento biológico completo do inseto com a utilização de diferentes teores de nutrientes na dieta artificial, especialmente por gerações consecutivas.

O uso e o desenvolvimento de dietas artificiais adequadas para a criação de insetos tem proporcionado grandes avanços nas diferentes áreas básicas e aplicadas da Entomologia, sejam elas em pesquisas voltadas para programas de MIP, de educação pública e/ou de alimentação animal, incluindo o homem (Panizzi e Parra, 2009).

Uma das razões para o sucesso do uso de predadores no controle biológico aplicado é a possibilidade de criação e multiplicação em larga escala desses agentes em presas alternativas, as quais caracterizam-se por serem capazes de suprir as exigências nutricionais dos insetos que delas se alimentam, produzindo indivíduos em quantidade, qualidade e baixo custo (Parra, 1997; Oliveira et al., 2010; De Bortoli et al., 2017). Além da possibilidade do uso de presas alternativas na criação, alguns predadores podem ser produzidos massalmente utilizando-se dietas artificiais, como por exemplo *E. annulipes* (Silva et al., 2009a; Silva et al., 2010).

Dessa forma, é importante adequar o fornecimento de alimento ao inseto, uma vez que este afeta diretamente o desenvolvimento, reprodução e sobrevivência, com repercussão em sua progênie (Kester e Smith, 1984). Portanto, quanto melhor for a adaptação nutricional do inseto à fonte de alimento, maior deverá ser seu potencial de reprodução e o desenvolvimento sucessivo de gerações (Panizzi e Parra, 2009).

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar e comparar o desenvolvimento de *E. annulipes* em diferentes dietas, sendo duas artificiais e uma natural. Também foi estimado o custo de produção do predador levando-se em consideração um modelo

de criação para fins de pesquisa, visando, com isso, fornecer subsídios para sua produção, comercialização e utilização como agente de controle biológico aplicado.

2. Material e métodos

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Biologia e Criação de Insetos (LBCI), Departamento de Ciências da Produção Agrícola (Fitossanidade), Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal, SP. Os insetos foram mantidos em condições controladas, com temperatura de 25 ± 1 °C, umidade relativa de $70 \pm 10\%$; fotoperíodo diário de 12 horas de luz/12 horas de escuro).

2.1. Criação de *Euborellia annulipes*

A criação do predador *E. annulipes* está descrita na página 29 no capítulo 2.

2.2. Dietas utilizadas

Duas dietas artificiais foram testadas, sendo uma proposta por Silva et al. (2009a) (D₁), outra (D₂) formulada apenas com ração inicial para frango de corte (Tabela 1), além do natural com ovos de *D. saccharalis*.

Tabela 1 - Composição das dietas artificiais para *Euborellia annulipes*.

Componentes	D ₁ (g)	D ₂ (g)
Leite em pó	130	-
Levedo de cerveja	220	-
Farelo de trigo	260	-
Ração inicial para frango de corte	350	960
Nipagin	40	40

D₁: Dieta artificial de Silva et al. (2009a).

D₂: Dieta artificial modificada de Silva et al. (2009a).

2.3. Dieta natural

A dieta natural testada foi composta por ovos de *D. saccharalis* com até três dias de pós-oviposição (D₃), sendo eles obtidos na criação massal da biofábrica da Usina São Martinho, Pradópolis, São Paulo, Brasil.

Foi realizado um ensaio preliminar avaliando-se a taxa de predação média de *E. annulipes* com ovos de *D. saccharalis* durante 24 horas, com o objetivo de se estabelecer o consumo diário do predador em seus diferentes ínstares e na fase adulta. Para essa determinação foi fornecido alimento *ad libitum* ao predador, ou seja, uma quantidade de ovos superior a taxa de predação média observada e descrita no Capítulo 2.

2.4. Desenvolvimento e sobrevivência

Para cada dieta, 60 ninfas de *E. annulipes* de eclosão recente (24 h) foram individualizadas em três tratamentos. O primeiro tratamento foi caracterizado por ninfas submetidas à alimentação com a dieta de Silva et al. (2009a) (D₁), no segundo as ninfas foram alimentadas com a dieta à base de ração inicial para frango de corte (D₂), e no terceiro com a dieta natural {ovos de *D. saccharalis* de até 3 dias de oviposição (D₃)}. Cada tratamento foi repetido 10 vezes, contendo seis ninfas por repetição.

As ninfas do predador foram liberadas individualmente em placas de Petri (6 cm de diâmetro) e alimentadas com as três dietas propostas acondicionadas em tubos Eppendorf (2 mL) contendo 1 ml de dieta, com as artificiais repostas a cada dois dias e a natural diariamente, de acordo com o consumo médio de ovos estabelecido para ovos de *D. saccharalis* (1º ínstar: 2,68; 2º ínstar: 11,45; 3º ínstar: 47,66; 4º ínstar: 56,82; 5º ínstar: 38,51; fêmeas: 24,73; machos: 53,53). Foram registrados o período de cada ínstar e da fase ninfal completa, bem como a sobrevivência dos insetos durante esses períodos. Após alcançarem a fase adulta foi determinada a razão sexual.

Os adultos foram agrupados em casais (n = 15) em placas de Petri (16 cm de diâmetro), sendo mantidos com as mesmas dietas das ninfas. No interior dessas placas foi colocado papel dobrado em camadas (2 cm de largura) e umedecido, servindo como substrato de refúgio. Foram registradas a longevidade e a

sobrevivência dos adultos, bem como a fecundidade e a fertilidade do predador. Em relação à fecundidade das fêmeas foram registrados os períodos de pré-oviposição, oviposição e pós-oviposição; o número de posturas; de ovos por postura; e por fêmea durante toda sua longevidade. Foram determinados também o período de incubação e a taxa de eclosão das ninfas.

2.5. Peso do predador

Todos os indivíduos que alçaram as fases ninfais e adulta (1º instar, 2º instar, 3º instar, 4º instar, 5º instar, macho e fêmea) foram pesados em balança analítica de precisão (Shimadzu AY220®) 24 h após mudança de fase.

2.6. Tabela de vida de fertilidade

Com os dados experimentais obtidos foram estimados os seguintes parâmetros para a construção de tabelas de vida de fertilidade, de acordo com Birch (1948), Silveira Neto et al. (1976), Southwood (1978) e Price (1984), sendo eles: x = ponto médio de cada idade das fêmeas parentais, considerada desde a fase de ovo; lx = expectativa de vida até a idade x , expressa como uma fração de uma fêmea; mx = fertilidade específica ou número de descendentes por fêmea produzidos na idade x e que originarão fêmeas, $lx.mx$ = número total de fêmeas nascidas na idade x . Os parâmetros de crescimento resultantes da tabela de vida são: R_0 = taxa líquida de aumento populacional; T = tempo médio de uma geração; r_m = taxa intrínseca de aumento; λ = razão finita de aumento. Além disso, determinou-se o Dt , que corresponde ao tempo necessário para a população duplicar em número (Krebs, 1994). Esses parâmetros foram calculados usando as seguintes equações:

$$R_0 = \sum(mx.lx)$$

$$T = \sum(mx.lx.x) / \sum(mx.lx)$$

$$r_m = \ln R_0 / T$$

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

$$Dt = \ln(2) / r_m$$

2.7. Avaliação do custo de produção de *Euborelia annulipes*

Os custos relativos à produção dos predadores foram efetuados computando-se o material e os componentes utilizados para se processar as dietas artificiais (D₁) e (D₂), sendo que para a dieta natural (ovos de *D. saccharalis*) (D₃) foi estimado baseando-se no preço de venda dos mesmos praticado pela empresa Promip, que à época (maio de 2021) era de R\$ 0,24 para cada ovo. Além disso, todo o material necessário para a manutenção da criação do predador em laboratório, bem como a mão-de-obra empregada para tal foram contabilizados. Os custos do predador foram determinados contabilizando-se o consumo das dietas e o número de presas (ovos de *D. saccharalis*) consumidos. Assim, foram analisados, comparativamente, os custos de produção das dietas artificiais e da natural (presa-ovos) e sua influência no desenvolvimento e produção do predador, obtendo-se o valor de cada predador pronto para ser liberado no campo.

Somente foi considerado o custo operacional total (custo operacional efetivo + custo com depreciação dos itens específicos para as dietas), pois parte-se do pressuposto que o produtor já possui uma biofábrica onde são criados outros insetos. O custo operacional total leva em consideração todos os itens de custo considerados diretos (mão-de-obra, dietas, manutenção dos equipamentos e outras despesas) e uma parcela de custos representada pela depreciação dos materiais específicos (Matsunaga, 1976).

Desta forma, nesta estrutura, foram obtidos os seguintes custos: 1) custo operacional efetivo, que representa os gastos efetivamente realizados na condução da atividade; e 2) custo operacional total, que corresponde ao custo operacional efetivo mais os custos com depreciação dos equipamentos e mobiliários específicos.

Neste trabalho foram considerados os custos operacionais efetivos (COE), como gastos com dieta, mão-de-obra, energia consumida pelos equipamentos, despesas com outros materiais, além de outros custos como depreciação de equipamentos e mobiliários específicos.

O custo de depreciação dos equipamentos e mobiliários específicos para a criação do predador foi calculado da seguinte forma:

$$D = \frac{V}{Vu * Hu} * C$$

D = depreciação

V = valor do bem

Vu = vida útil do bem (em anos)

Hu = horas de uso por ano

C = duração do ciclo em horas

Somando-se o custo operacional efetivo ao custo com depreciação é obtido o custo operacional total (COT) de produção, em reais por ciclo.

COT = COE + custo com depreciação

COT = custo operacional total

COE = custo operacional efetivo

O custo de cada predador consumindo as dietas (D₁) (D₂) e (D₃) foi obtido dividindo-se o custo operacional total pelo número de indivíduos produzidos por ciclo em cada dieta.

$$\text{Custo do inseto}_1 = \frac{COT_i}{N_i}$$

COT_i = custo operacional total do predador

N_i = número de indivíduos do predador produzidos/ciclo em cada dieta

i = número de espécies (1...5).

2.8. Análises estatísticas

O desenho experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo os dados de longevidade e peso de machos e fêmeas agrupados em esquema fatorial 5 x 3 (fases do predador x dietas) para a comparação do efeito das dietas no desenvolvimento, peso e diferença entre cada ínstar ninfal do predador. Em relação aos adultos foi utilizado um esquema fatorial 2 x 3 (sexo do predador x dietas) para comparar longevidade e peso de machos e fêmeas.

Os dados relacionados ao desenvolvimento biológico e peso do predador foram previamente submetidos à análise de normalidade (Shapiro) e homogeneidade (Bartlett). Havendo distribuição normal foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e os dados obtidos comparados por testes t e Tukey ($P \leq 0,05$), utilizando-se os PROC TTEST e PROC GLM (SAS Institute, 2015), caso contrário foi utilizado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis. A sobrevivência foi submetida ao teste de sobrevivência de Kaplan-Meier (log-rank test), utilizando-se o Proc LIFETEST (SAS Institute, 2015), enquanto que pelo método de Jackknife foram estimadas as médias e os erros padrões dos parâmetros da tabela de vida de fertilidade, de acordo com Maia et al. (2000), com as médias comparadas pelo teste de Tukey.

3. Resultados

3.1. Desenvolvimento e sobrevivência

A duração do primeiro ínstar ninfal de *E. annulipes* foi menor para ninfas alimentadas com ovos de *D. saccharalis* ($F_{2,177} = 20,31$; $P < 0,0001$). Entretanto, não foram observadas diferenças significativas entre as dietas nos demais ínstares do predador. A sobrevivência ninfal em todos os ínstares não foi afetada pelas diferentes dietas consumidas pelos insetos ($F_{2,177} = 0,50$; $P = 0,608$), com os valores médios superiores a 90% (Figura 2).

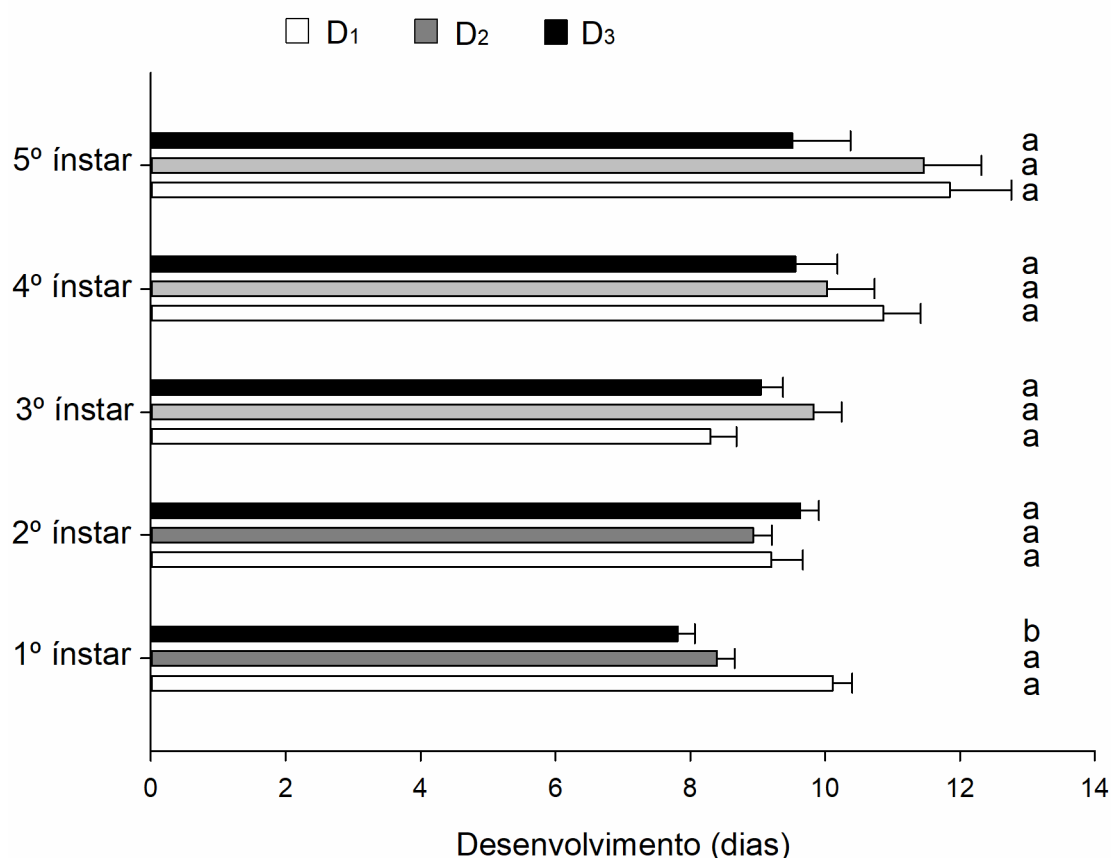


Figura 2 - Período de vida dos ínstaes ninfais de *Euborellia annulipes* alimentada com as dietas D₁, D₂ e D₃.

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre os tratamentos em cada estágio ninfal, pelo teste de Student-Newman-Keuls ($P < 0,005$); ns = Diferenças não significativas entre os valores da sobrevivência ($P > 0,05$).

D₁ – dieta de Silva et al. (2009a); D₂ – dieta à base de ração inicial para frango de corte; D₃ – ovos de *D. saccharalis*.

Apesar da diferença entre a duração do período de desenvolvimento de ninfas do primeiro ínstar alimentadas com dieta natural (D₃), não houve diferença na duração ($F_{2,177} = 1,51$; $P = 0,251$) e na viabilidade ($F_{2,177} = 0,50$; $P = 0,612$) da fase ninfal total entre as dietas, que variaram de 46-56 dias e ~90%, respectivamente. Isso também foi observado para a razão sexual ($F_{2,177} = 1,65$; $P = 0,325$). A longevidade dos adultos foi afetada pelo tipo de dieta utilizada pelo inseto ($F_{2,42} = 7,38$; $P = 0,0018$), havendo diferença entre os sexos, com os machos vivendo menos que as fêmeas ($F_{2,42} = 5,49$; $P = 0,0076$), independentemente da dieta utilizada para a alimentação (Tabela 2). A sobrevivência estimada para os adultos alimentados com as dietas diferiu significativamente entre os tratamentos (teste de log-rank: $\chi^2 = 0,26$; gl = 2; $P < 0,0001$), sendo menor na dieta à base de ovos de *D. saccharalis* (Figura 3), havendo

a partir da 15ª semana uma diminuição de 50% dos adultos vivos em todos os tratamentos.

Tabela 2 - Parâmetros biológicos de *Euborellia annulipes* alimentada com as diferentes dietas.

Parâmetros biológicos	D ₁	D ₂	D ₃
Ninfa-adulto (dias)	55,33 ± 1,37 ^{ns}	49,25 ± 4,91	45,75 ± 4,55
Sobrevivência (%)	93,33 ± 0,032 ^{ns}	91,66 ± 0,035	90,0 ± 0,039
Razão sexual	0,52 ± 0,072 ^{ns}	0,51 ± 0,073	0,52 ± 0,077
Longevidade de machos (dias)	141,53 ± 3,03 Aa	138,73 ± 3,46 Aa	106,21 ± 2,33 Ab
Longevidade de fêmeas (dias)	200,60 ± 8,0 Ba	183,86 ± 8,22 Ba	162,40 ± 4,0 Bb

ns = diferenças não significativas entre os tratamentos ($P > 0,05$); médias ± EP seguidas por letras maiúsculas diferentes (coluna) indicam diferença significativa entre os sexos do predador e letras minúsculas diferentes (linha) indicam diferença entre os tratamentos pelos testes de Student-Newman-Keuls e F, respectivamente ($P < 0,05$).

D₁ – dieta de Silva et al. (2009a); D₂ – dieta à base de ração inicial para frango de corte; D₃ – ovos de *D. saccharalis*.

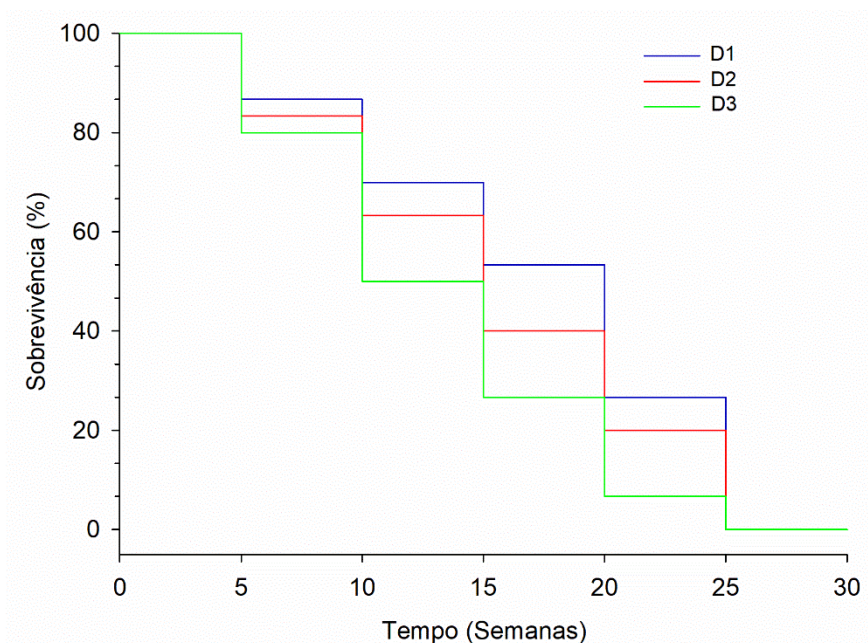


Figura 3 - Sobrevivência de adultos de *Euborellia annulipes* alimentados com com duas dietas artificiais D₁ – Silva et al., (2009); D₂ – à base de ração inicial para frango de corte; e uma artificial D₃ – ovos de *D. saccharalis*. Houve diferença estatística entre os tratamentos de acordo com o teste de log-rank ($P < 0,05$).

3.2. Peso do predador

Não houve diferença no peso de ninfas de primeiro ($F_{2,177} = 1,43$; $P = 0,242$), quarto ($F_{2,177} = 0,57$; $P = 0,566$) e quinto ínstaes ($F_{2,177} = 2,10$; $P = 0,125$) quando consumiram as três dietas. Contudo, para as ninfas de segundo e terceiro ínstaes o maior peso foi quando consumiram as dietas D₂ e D₃ (2º: $F_{2,177} = 15,61$; $P < 0,0001$; 3º: $F_{2,177} = 4,0$; $P = 0,0194$ (Figura 4A). Os machos da tesourinha apresentaram menor peso em relação às fêmeas nas três dietas ($F_{1,131} = 1038,65$ 172,37; $P < 0,0001$), sendo que para os machos os menores pesos foram produzidos com a dieta D₁ (♂: $F_{1,131} = 6,19$; $P = 0,0025$) (Figura 4B).

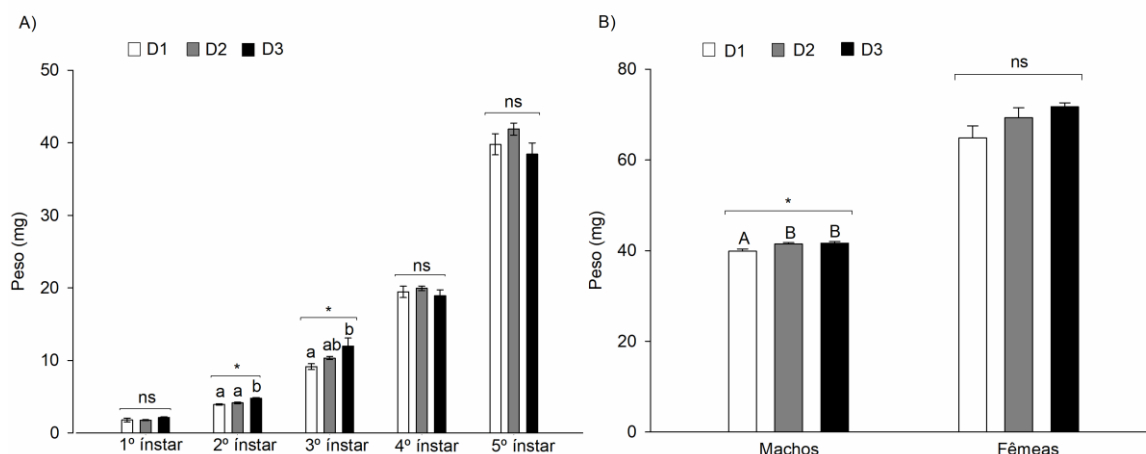


Figura 4 - Peso médio $\pm$ EP dos ínstaes ninfais (A) e dos adultos (B) de *Euborellia annulipes* alimentados nas dietas D₁, D₂ e D₃.

^{ns}Diferenças não significativas; Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos (* $P < 0,05$) e maiúsculas entre os sexos do predador em cada tratamento, pelo teste de StudentNewman-Keuls e F, respectivamente ($P < 0,0001$). D₁ – Silva et al. (2009); D₂ – a base de ração inicial para frango de corte; D₃ – ovos de *D. saccharalis*.

3.3. Fecundidade e fertilidade

Houve influência das diferentes dietas nos períodos reprodutivos de *E. annulipes*, com o de pré-oviposição variando entre 15 e 21 dias ($F_{2,42} = 16,82$; $P < 0,0001$), o de oviposição entre 89 e 97 dias ($F_{2,42} = 1,05$; $P = 0,3589$) e o de pós-oviposição entre 18 e 23 dias ($F_{2,42} = 7,96$; $P = 0,0012$). Houve efeito dos tratamentos no número de posturas ($\chi^2 = 2,32$; gl = 2; $P < 0,0001$), bem como no número de ovos por postura ($F_{2,42} = 2,73$; $P = 0,076$). As diferentes dietas não influenciaram na

quantidade total de ovos produzidos por fêmea ($F_{2,42} = 3,01$; $P < 0,0001$), no período de incubação ($\chi^2 = 0,17$; $gl = 2$, $P = 0,916$) e na taxa de eclosão ($\chi^2 = 2,34$; $gl = 2$; $P = 0,309$) (Tabela 4).

Tabela 4 – Parâmetros biológicos de *Euborellia annulipes* alimentada com as dietas D₁, D₂ e D₃.

Parâmetros biológicos	D ₁	D ₂	D ₃
Pré-oviposição (dias)	20,06 ± 0,35 a	18,60 ± 0,33 a	15,32 ± 0,33 b
Oviposição (dias)	94,26 ± 1,00 a	96,53 ± 1,19 a	89,54 ± 1,31 a
Pós-oviposição (dias)	22,33 ± 0,77 a	20,66 ± 0,68 a	18,00 ± 0,86 b
¹ Posturas (no.)	4,9 ± 0,16 a	4,66 ± 0,12 a	3,7 ± 0,12 b
Ovos/postura (no.)	79,51 ± 2,26 a	73,85 ± 1,79 a	75,91 ± 2,07 a
Ovos/fêmea (no.)	321 ± 8,79 a	200,40 ± 7,16 b	189,32 ± 8,28 b
¹ Incubação (dias)	13,60 ± 0,51 a	13,34 ± 0,33 a	13,41 ± 0,37 a
¹ Taxa de eclosão (%)	81,06 ± 2,27 a	78,32 ± 2,10 a	77,99 ± 2,42 a

Médias ± EP seguidas por letras diferentes na linha apresentam diferença significativa pelo teste de Student-Newman-Keuls ($P < 0,05$) e pelo teste não paramétrico de ¹Kruskal-Wallis ($P < 0,05$).

D₁ – dieta de Silva et al. (2009a); D₂ – dieta artificial à base de ração inicial para frango de corte; D₃ – dieta natural à base de ovos de *D. saccharalis*.

3.4. Tabela de vida de fertilidade

De acordo com os parâmetros da tabela de vida de fertilidade estimados, observou-se que houve diminuição na taxa de reprodução líquida (R_0) quando *E. annulipes* foi alimentado com a dieta D₂ (149,64), em comparação com D₁ (153,10) e D₃ (151,16), enquanto para o tempo médio de geração (T) o menor valor foi para D₃ (85,72), diferindo de D₁ (103,32) e D₂ (102,24) que foram semelhantes entre si. O mesmo se repetiu para o tempo para a população se duplicar em número (Dt), com valores numéricos de 14,23 para D₁, 14,37 para D₂ e 11,38 para D₃. A taxa finita (λ) de aumento apresentou valores médios variando entre 1,047 e 1,062, enquanto na taxa intrínseca de aumento (r_m) a variação foi de 0,048 a 0,058, com ambos os parâmetros não diferindo significativamente nas três dietas utilizadas para a criação de *E. annulipes* (Tabela 5).

Tabela 5 - Parâmetros médios ($\pm$ EP) da tabela de vida de fertilidade de *Euborellia annulipes* alimentada com as dietas D₁, D₂ e D₃.

Parâmetros	D ₁	D ₂	D ₃
R_0 (descendentes)	153,10 (132,63 – 173,58) a	149,64 (141,16 – 158,12) b	151,16 (142,04 – 160,28) a
T (dias)	103,32 (96,48 – 110,25) a	102,24 (96,34 – 108,13) a	85,72 (81,88 – 89,57) b
Dt (dias)	14,23 (13,48 – 14,99) a	14,37 (13,73 – 15,02) a	11,38 (11,84 – 12,29) b
λ (dia ⁻¹)	1,047 (1,049 – 1,052) a	1,049 (1,047 – 1,051) a	1,060 (1,057 – 1,062) a
r_m (dia ⁻¹)	0,048 (0,046 – 0,051) a	0,048 (0,046 – 0,050) a	0,058 (0,056 – 0,060) a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente entre os tratamentos pelo teste t de Student a partir da comparação aos pares ($P < 0,05$). R_0 = taxa líquida de reprodução; T = tempo médio de geração; Dt = tempo necessário para a população duplicar em número; λ = taxa finita aumento e r_m = taxa intrínseca de aumento.

D₁ – dieta de Silva et al. (2009a); D₂ – dieta artificial à base de ração inicial para frango de corte; e D₃ – dieta natural à base de ovos de *D. saccharalis*.

3.5. Avaliação do custo de produção de *Euborellia annulipes*

Foi realizado o cálculo de custo de produção do predador *E. annulipes* criado nas três dietas, sendo que para a estimativa do custo operacional de produção foram utilizadas informações referentes à criação do predador como descrito no capítulo 3.

O planejamento quantitativo da criação do predador foi elaborado considerando-se os seguintes dados, obtidos diretamente da criação: uma fêmea adulta do predador *E. annulipes* alimentada com a D₁ (padrão) produz, em média, 321,02 ovos por ciclo, quando alimentada com D₂ (ração inicial para frango) 200,40 ovos por ciclo e quando alimentada com a D₃ (ovos de *D. saccharalis*) produz 189,32 ovos por ciclo. Os dados foram estimados considerando uma densidade populacional inicial de criação de 200 predadores. Os descendentes foram mantidos a 25°C com viabilidade média de 93,3%, 91,6% e 90,0%, respectivamente, tendo uma produção média de 30.558,11 adultos, 19.065,28 adultos e 17.690,40 adultos, respectivamente nas dietas D₁, D₂ e D₃ por ciclo, insetos que eventualmente seriam comercializados.

Como as criações foram mantidas em sala climatizada foi possível a obtenção de 2,7 ciclos por ano nas três dietas, com custo de produção do predador estimado

de para cada dieta foi R\$ 0,0004 para D₁, R\$ 0,0006 para D₂ e R\$ 5,64 para a D₃ (Tabela 6). A dieta natural (D₃) apresentou um custo bem maior devido aos gastos elevados para adquirir os ovos de *D. saccharalis*, enquanto as dietas artificiais apresentaram custos bem menores por terem os seus componentes custos muito inferiores.

Tabela 6 - Custos operacionais (R\$) de *Euborellia annulipes* criado com as dietas D₁, D₂ e D₃, por ciclo de produção.

Item	Dietas		
	D ₁	D ₂	D ₃
Mão de obra	646,11	544,09	544,09
Despesas com equipamentos e energia	265,29	265,2	265,29
Dieta	69,44	38,60	9.984.000,00
Outros Materiais	362,63	362,63	362,63
Custo operacional efetivo	1.241,45	1.210,61	9.985.274,03
Depreciação itens específicos	11,83	11,83	11,83
COT*	1.253,28	1.222,44	9.985.285,86
Produção** (unidades/ciclo)	3.055.811	1.906.528	1.769.040
COT/unidade	0,0004	0,0006	5,64

D₁ – dieta de Silva et al. (2009a); D₂ – dieta artificial à base de ração inicial para frango de corte; e D₃ – dieta natural à base de ovos de *D. saccharalis*.

4. Discussão

Todas as dietas testadas permitiram o desenvolvimento e obtenção de adultos de *E. annulipes*, no entanto ao se comparar os parâmetros de desenvolvimento e reprodução do predador foram identificadas algumas diferenças importantes.

A duração e a sobrevivência ninfal de *E. annulipes* não foi diretamente afetada pelas diferentes dietas, porém, analisando-se conjuntamente a duração de todos os estádios, verifica-se redução no período ninfal total quando o predador consumiu a dieta D₃ (ovos *D. saccharalis*) com duração de aproximadamente 46 dias, contra os 53 dias da dieta D₁ (padrão). Esses resultados se aproximam daqueles obtidos por Pinto et al. (2005), Silva et al. (2009a) e Silva e Brito (2014), que relatam ter *E. annulipes* atingido a fase adulta em até 60 dias, no primeiro caso alimentada com dieta

a base de ovos de *Anagasta kuehniella* Zeller, 1879 (Lepidoptera: Pyralidae) e nos outros dois com a mesma dieta artificial padrão utilizada neste trabalho.

De modo geral, o desenvolvimento dos animais é reflexo daquilo que ingerem como dieta e, no caso dos insetos, muitos aspectos de sua biologia também estão diretamente inseridos no contexto nutricional. Nesse contexto, os insetos têm exigências nutricionais básicas por aminoácidos, vitaminas e sais minerais (nutrientes essenciais), além de carboidratos, lipídios e esteróis (nutrientes não essenciais), sendo importante se ressaltar que os nutrientes essenciais devem fazer parte da composição das dietas porque os insetos podem não ter a capacidade de sintetizá-los por seus processos metabólicos, garantindo dessa maneira desenvolvimento adequado levando a uma boa “qualidade de vida” (Panizzi e Parra, 2009). No caso em estudo, os resultados evidenciam que tanto ovos de *D. saccharalis*, como as dietas artificiais proveram para *E. annulipes* uma nutrição adequada ao seu desenvolvimento.

Apesar disso, as dietas fornecidas durante o período ninfal provocaram algumas alterações na longevidade dos adultos, apresentando um menor tempo de vida aqueles que consumiram a dieta D₃ (ovos *D. saccharalis*). Longevidade de adultos semelhante à encontrada na dieta D₃ foi relatada para as espécies de tesourinhas *Pygidicrana v-nigrum* Serville, 1831 (Dermaptera: Pygidicranidae) (Alves et al., 2019) e *Doru luteipes* Scudder, 1876 (Dermaptera: Forficulidae) (Cruz et al., 1995), ao consumirem dietas naturais e artificiais, e, também, para *E. annulipes*, ao consumir dieta natural representada por pulgões da espécie *Hyadaphis foeniculum* (Passerini, 1860) (Hemiptera: Aphididae) (Silva et al., 2010).

Os machos de *E. annulipes* viveram menos que as fêmeas, independentemente da alimentação durante seu ciclo de vida. Diversos fatores podem afetar a longevidade de insetos, especialmente a alimentação, sendo que geralmente a tendência é de as fêmeas viverem menos que os machos devido, no caso dos Dermaptera, particularmente, ao cuidado dispensado com a prole (Song et al., 2010; De Bortoli et al., 2016), com as de tesourinhas apresentando o cuidado maternal, protegendo os seus ovos até a eclosão das ninfas (Butnariu et al., 2013; Boos et al., 2014). Independentemente do alimento ingerido, a razão sexual foi semelhante, estando dentro de valores esperados e adequados para reprodução em laboratório, com a

proporção de um macho para uma fêmea (1:1), razão suficiente para o sucesso reprodutivo (Silva et al., 2009a; Silva et al., 2009b; Tomé, 2018).

Ao comparar o peso dos diferentes ínstaes ninfais e dos adultos foram observadas algumas diferenças. Ninfas de segundo e terceiro ínstaes apresentaram pesos maiores quando consumiram as dietas D₂ e D₃, enquanto os machos sempre foram mais leves que as fêmeas, independentemente da dieta consumida. O peso menor do macho em relação ao da fêmea deve ter sido por característica da espécie, com os machos sendo sempre menores, característica essa que, inclusive, está associada ao dimorfismo sexual na ordem Dermaptera (Hernández, 2015; Lima, 2020).

Em relação à fecundidade das fêmeas, houve diferença entre as dietas, sendo que o valor encontrado para a dieta natural (D₃) (189 ovos/fêmea) foi mais baixo quando comparado com a D₁ (321 ovos/fêmea) e D₂ (200 ovos/fêmea), bem como com de outros estudos. Nesse sentido, Lemos et al. (2003) relataram valor de 300 ovos/fêmea utilizando a mesma dieta padrão (D₁), enquanto Nunes (2020) obteve 350 ovos/fêmea. Ainda em relação à fecundidade, autores como Wiedenmann e O'Neil (1991) e Molina-Rugama et al. (1997 e 1998) citam que a fecundidade pode ser bastante afetada pela quantidade e qualidade do alimento consumido durante a fase jovem e/ou adulta dos insetos. Já, o número de ovos por postura foi semelhante para as fêmeas alimentadas nas três dietas, indicando, por exemplo, que os diferentes teores de proteína nas dietas não interferiram nesse parâmetro biológico.

Quanto à tabela de vida de fertilidade, a alimentação do predador não influenciou na taxa líquida de reprodução (R_0), enquanto os valores do tempo médio de geração (T) indicam que *E. annulipes* pode apresentar em média três gerações por ano quando criado com as dietas D₁ e D₂, com esses valores mostrando-se equivalentes aos observados por Lemos et al. (2003) com o predador também tendo alimentação à base de dieta artificial. Por outro lado, o predador apresentou em média quatro gerações quando consumiu a dieta natural D₃. O número de gerações produzido pelas tesourinhas, de maneira geral, é variável entre as espécies, podendo ser encontrado espécies com apenas uma geração por ano, sendo que essa característica é muito dependente da longevidade dos adultos, uma vez que,

normalmente, aqueles insetos que vivem menos têm condições de produzir maior número de gerações por ano (Klostermeyer, 1942; Yang, 1985).

Os valores positivos da razão finita de aumento (λ) ($>1,0$) e a taxa intrínseca de aumento (r_m) indicam um potencial de aumento da população de *E. annulipes* nas três dietas. Quando a tesourinha foi alimentada com a dieta natural (D₃) apresentou o menor tempo para a população duplicar em número (11,38 dias), período este inferior aos 15,5 dias encontrado por Nunes (2020), alimentando essa tesourinha com lagartas de *Plutella xylostella* (L., 1758) (Lepidoptera: Plutellidae).

Uma dieta que consiste apenas de uma presa, em alguns casos, pode ser nutricionalmente deficiente para o predador, especialmente os generalistas, modificando alguns aspectos de sua biologia (Svobodová et al., 2017; Rendon et al., 2019). A quantidade de proteína na formulação da dieta artificial e as informações sobre os aminoácidos presentes em cada componente proteico da dieta relacionam-se diretamente com o desempenho biológico do inseto (Cohen, 2015). No caso das tesourinhas, a necessidade de diferentes alimentos de origem vegetal e animal, que caracteriza sua onivoria, pode explicar as diferentes repercussões biológicas entre as dietas com diferentes componentes quando comparada a uma dieta natural única.

Em relação ao custo de produção do predador, os maiores gastos para criação dos insetos foram despesas com equipamento e energia, e com mão-de-obra, com observações semelhantes relatadas por Mendes et al. (2005) e De Bortoli et al. (2011), trabalhando custos de produção de *Orius insidiosus* (Say, 1832) (Hemiptera: Anthocoridae) e *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Hemiptera: Pentatomidae), onde os gastos com mão-de-obra representaram pouco mais que 60% do custo total de produção desses predadores. Nesse sentido, Parra (2002) que cita que os gastos com mão-de-obra representam de 60 a 80% do custo de produção de insetos nos laboratórios brasileiros.

O custo estimado de cada predador criado com dieta natural (ovos de *D. saccharalis*) foi bastante superior ao observado por De Bortoli et al. (2011) criando *P. nigrispinus* com lagartas de *D. saccharalis*, provavelmente pelo fato de terem produzido no laboratório as lagartas e não adquirido de empresa comercial. Ainda deve ser ressaltado que no presente trabalho não foram computados os custos de

depreciação das edificações, fato este que elevaria ainda mais o custo de *E. annulipes*.

A redução no custo de criação de *E. annulipes* é interessante para o desenvolvimento de pesquisas e, principalmente, para a produção massal, o que certamente ocorrerá para o caso da dieta D₃ (ovos de *D. saccharalis*), caso o laboratório passe a produzir sua própria presa deixando de adquiri-la de outra biofábrica, o que é muito importante para a tomada de decisão sobre a tática de controle no contexto de um programa de MIP, por ser o seu sucesso de implementação estritamente dependente de seu custo (Mendes et al., 2005).

Em função dos resultados apresentados pode-se inferir que o predador completou seu desenvolvimento alimentando-se tanto das dietas artificiais como da dieta natural. No entanto, é necessário realizar estudos que avaliem a interferência das dietas em gerações sucessivas, visto que, os desequilíbrios nutricionais de uma dieta podem ser expressos apenas em gerações consecutivas (De Clercq et al., 2005). Também existe a necessidade de estudos que avaliem as concentrações dos macro e dos micronutrientes nas dietas, em especial as artificiais, uma vez que as exigências nutricionais são normalmente determinadas em estudos com dietas artificiais, por ser extremamente difícil quantificar as concentrações dos nutrientes presentes em uma natural, como uma presa por exemplo (Panizzi e Parra, 2009; Cortes Ortiz et al., 2016).

5. Conclusão

A dieta mais adequada para criação massal de *E. annulipes* em laboratório é a dieta artificial D₁, no entanto as dietas D₂ e D₃ parecem ser fontes nutricionais adequadas para o desenvolvimento do predador, podendo ser utilizadas na criação do inseto em laboratório.

A dieta natural (presa) D₃ apresentou o maior custo em comparação com as dietas artificiais (D₁ e D₂).

6. Referências

Alves PRR, Oliveria R, Oliveira V, Batista JL (2019) Desenvolvimento e reprodução de *Pygidicrana v-nigrum* (Dermaptera: Pygidicranidae) alimentada com dieta artificial. **PesquisAgro** 2(1):24-33.

Birch LC (1948) The intrinsic rate of natural increase of on insect population. **Journal of Animal Ecology** 17:15-26.

Boos S, Meunier J, Pichon S, Kölliker M (2014) Maternal care provides antifungal protection to eggs in the European earwig. **Behavioral Ecology** 25:754-761.

Bourne A, Fountain MT, Wijnen H, Shaw B (2019) Potential of the European earwig (*Forficula auricularia*) as a biocontrol agent of the soft and stone fruit pest *Drosophila suzukii*. **Pest Management Science** 75:3340–3345.

Butnariu AR, Pasini A, Reis FS, Bessa E (2013) Maternal care by the earwig *Doru lineare* Eschs. (Dermaptera: Forficulidae). **Journal of Insect Behavior** 26:667-678,

Cohen AC (2015) **Insect diets: science and technology**. Boca Raton: CRC Press, 473 p.

Cortes Ortiz JA, Ruiz AT, Morales-Ramos JA, Thomas M, Rojas MG, Tomberlin JK, Yi L, Han R, Giroud L, Jullien RL (2016) Insect mass production technologies. In.: Dossey AT, Morales-Ramos J, Rojas MG (Eds.) **Insects as sustainable food ingredients: production, processing and food applications**. Cambridge: Academic Press, p. 153-201.

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):1-10.

Cruz I, Alvarenga CD, Figueiredo PEF (1995) Biologia de *Doru luteipes* (Scudder) e sua capacidade predatória de ovos de *Helicoverpa zea* (Boddie). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil** 24(2):273-278.

De Bortoli SA, Otuka AK, Vacari AM, Martins MI, Volpe HX (2011) Comparative biology and production costs of *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) when fed different types of prey. **Biological Control** 58:127-132.

De Bortoli SA, Vacari AM, De Bortoli CP (2017) Criação de insetos: passado, presente e futuro. In.: Castilho RC, Barilli DR, Truzzi CC (Eds.) **Tópicos em entomologia agrícola - X**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda., p. 13-26.

De Bortoli SA, Vacari AM, Laurentis VL, De Bortoli CP, Santos RF, Otuka AK (2016) Selection of prey to improve biological parameters of the predator *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Hemiptera: Pentatomidae) in laboratory conditions. **Brazilian Journal of Biology** 76:307-314.

De Clercq P, Arijs Y, van Meir T, van Stappen G, Sorgeloos P, Dewettinck K, Rey M, Grenier S, Febvay G (2005) Nutritional value of brine shrimp as a factitious food for *Orius laevigatus* (Heteroptera: Anthocoridae). **Biocontrol Science and Technology** 15(5):467–479.

Hernández SG (2015) **Dimorfismo sexual na tesourinha *Labiduria xanthopus* (Dermaptera): uma abordagem macro-ecológica a padrões e processos**. 91 p. Dissertação (Mestrado), Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Kester KM, Smith CM (1984) Effects of diet on growth, fecundity and duration of tethered flight of *Nezara viridula*. **Entomologia Experimentalis et Applicata** 35(1):75-81.

Klostermeyer EC (1942) The life history and habits of the ringlegged earwig, *Euborellia annulipes* (Lucas) (Order Dermaptera). **Journal of the Kansas Entomological Society** 15(1):13-18.

Kočárek P, Dvorak L, Kirstova M (2015) *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae), a new alien earwig in Central European greenhouses: potential pest or beneficial inhabitant? **Applied Entomology and Zoology** 50:201-206.

Krebs GJ (1994) **Ecology**: the experimental analysis of distribution and abundance. New York: Harper Collins. 678 p.

Lemos WP, Ramalho FDS, Zanuncio JC (2003) Age-dependent fecundity and lifefertility tables for *Euborellia annulipes* (Lucas) (Dermaptera: Anisolabididae) a cotton boll weevil predator in laboratory studies with an artificial diet. **Environmental Entomology** 32:592-601.

Lima RMD (2020) **Caracterização morfológica de *Marava arachidis*, (Dermaptera: Labiidae) e *Euborelia annulipes*, (Dermaptera: Anisolabididae) para identificação do dimorfismo sexual**. 38 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas), Universidade Federal da Paraíba, Areia.

Maia AHN, Luiz AJB, Campanhola C (2000) Statistical inference on associated fertility life table parameters using Jackknife technique: computational aspects. **Journal of Economic Entomology** 93:511-518.

Matsunaga M (1976) Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. **Agricultura em São Paulo** 23(1):123-139.

Mendes SM, Bueno VHP, Carvalho LM (2005) Adequabilidade de diferentes substratos à oviposição do predador *Orius insidiosus* (Say) (Hemiptera: Anthocoridae). **Neotropical Entomology** 34(3):415-421.

Molina-Rugama AJ, Zanuncio JC, Pratissoli D, Cruz I (1998) Efeito do intervalo de alimentação na reprodução e na longevidade do predador *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil** 27(1):77-84.

Molina-Rugama AJ, Zanuncio JC, Torres JB, Zanuncio TV (1997) Longevidade e fecundidade de *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae) alimentado com *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) e feijão. **Revista de Biologia Tropical** 45:1125-1130.

Nunes GDS (2020) **Relações tróficas entre *Euborellia annulipes* (Lucas) (Dermaptera: Anisolabididae) e *Bacillus thuringiensis* no manejo de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae)**. 82 p. Tese (Doutorado em Agronomia, Entomologia Agrícola), Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

Oliveira JEM, De Bortoli SA, Santos RF, Moreira AM (2010) Desenvolvimento de metodologia de criação e multiplicação de *Aphis gossypii*: avanços e sucessos. **Comunicata Scientiae** 1:65-68.

Panizzi AR, Parra JRP (2009) **Bioecologia e nutrição de insetos: base para o manejo integrado de pragas**. Brasília: EMBRAPA, 1163 p.

Parra JRP (1997) Técnica de criação de *Anagasta kuehniella*, hospedeiro alternativo para a produção de *Trichogramma*. In: Parra JRP, Zucchi RA (Eds.) ***Trichogramma e o controle biológico aplicado***. Piracicaba: FEALQ, p. 21-150.

Parra JRP (2002) Criação massal de inimigos naturais. In: Parra JRP, Botelho PS M, Corrêa-Ferreira BS, Bento JMS (Eds.). **Controle biológico no Brasil**: parasitoides e predadores. São Paulo: Manole, p. 143-164.

Pinto DM, Storch G, Costa M (2005) Biologia de *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Forficulidae) em laboratório. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia** 4(8):1-7.

Price PW (1984) **Insect ecology**. New York: Wiley, 607 p.

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

Rendon D, Taylor PW, Wilder SM, Whitehouse MEA (2019) Does prey encounter and nutrient content affect prey selection in wolf spiders inhabiting Bt cotton fields? **PLoS One** 14:e0210296.

SAS Institute (2015) SAS/IML® User's Guide. SAS Institute, Cary, NC, USA.

Silva AB, Batista JL, Brito CH (2009a) Predatory capacity of *Euborellia annulipes* (Lucas, 1847) on *Spodoptera frugiperda*. **Acta Scientiarum. Agronomy** 31(1):7-11.

Silva AB, Batista JL, Brito CH (2009b) Aspectos biológicos de *Euborellia annulipes* sobre ovos de *Spodoptera frugiperda*. **Engenharia Ambiental** 6:482-495.

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 AB, Brito JM (2014) Bioecologia de *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae). **Revista Verde** 9(5):55-61.

Silveira Neto S, Nakano O, Baldin D, Villanova NA (1976) **Manual de ecologia dos insetos**. São Paulo: Agronômica Ceres. 419 p.

Song W, Ren D, Li W, Jiang L, Cho KW, Huang P, Fan C, Song Y, Liu Y, Rui L (2010) SH2B regulation of growth, metabolism, and longevity in both insects and mammals. **Cell Metabolism** 11(5):427-437.

Southwood TRE (1978) **Ecological methods**. London: Chapman & Hall, 391 p.

Svobodová Z, Burkness EC, Habuštová OS, Hutchison WD (2017) Predator preference for Bt-fed *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) prey: implications for insect resistance management in Bt maize seed blends. **Journal of Economic Entomology** 110:1317-1325.

Tomé MP (2018) **Desenvolvimento e sobrevivência de *Euborellia annulipes* com dieta vegetal, animal e mista**. 32 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias), Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande.

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.

Vacari AM, De Bortoli SA, Torres JB (2012) Relationship between predation by *Podisus nigrispinus* and developmental phase and density of its prey, *Plutella xylostella*. **Entomologia Experimentalis et Applicata** 145:30–37.

Wiedenmann RN, O'Neil RJ (1991) Searching behavior and time budgets of the predator *Podisus maculiventris*. **Entomologia Experimentalis et Applicata** 6(1):83-93.

Yang JH (1985) A preliminary observation on *Euborellia pallipes* Shiraki. **Insect Knowledge** 22:271-272.

CAPÍTULO 4 – Considerações finais

A tesourinha *Euborellia annulipes* Lucas, 1847 (Dermaptera: Anisolabididae) é um predador voraz e uma das espécies com maior frequência de ocorrência e distribuição geográfica no mundo, sendo relatada em plantações de cana-de-açúcar,

onde é relacionada como possível agente de biocontrole para broca da cana-de-açúcar, *Diatraea saccharalis* (F., 1794) (Lepidoptera: Crambidae) (Negm e Hensley, 1969; Ramamurthi e Solayappan, 1980; Rankin e Palmer, 2009). Considerando a importância deste predador, se faz necessário a realização estudos que avaliem a interação comportamental predador-presa trazendo informações fundamentais sobre a sua capacidade predatória, o que poderá aumentar a possibilidade de seu uso no combate à *D. saccharalis*, quando se pensa em controle biológico aplicado, em geral (Shah e Khan, 2013).

Neste trabalho situações foram exploradas em condições de laboratório em que *E. annulipes* apresentou preferência alimentar pôr lagartas neonatas de *D. saccharalis*, com os ínstaes mais avançados do predador apresentando maior taxa de predação. Além disso, o tipo de presa, associado à densidade de ovo e de lagartas neonatas de *D. saccharalis*, alteram o tipo de resposta funcional de adultos (fêmeas), resultando em diminuição no tempo de manipulação. Estudos com tesourinhas devem ser intensificados e aprofundados, uma vez que essas espécies apresentam bom potencial para aplicação no controle biológico aplicado, sendo esses estudos facilitados pela possibilidade de criação desse predador com dietas artificiais no laboratório. Assim, como citam Coll e Wajnberg (2017), entender a ação desses inimigos naturais pode contribuir diretamente para o controle biológico conservativo e para as teorias de manejo ambiental de pragas.

Pesquisas visando o desenvolvimento e o aperfeiçoamento de programas de controle biológico aplicado necessitam de um grande número de inimigos naturais a serem utilizados em suas análises e avaliações, para consequentes e subsequentes liberações no campo. Dessa forma, a eficácia da criação de inimigos naturais é essencial, uma vez que uma metodologia de criação adequada para a produção de insetos de qualidade, com redução de custos, podem facilitar a obtenção desses indivíduos em grande escala (Parra, 2009; De Bortoli et al., 2018). Neste sentido, os resultados deste trabalho demonstram que dietas artificiais e natural podem influenciar o desenvolvimento *E. annulipes*, sendo que a dieta já recomendada (D₁) para o predador fornece os melhores resultados, não sendo excluída a possibilidade de uso das outras duas.

Euborellia annulipes pode ser facilmente produzido e mantido em laboratório com custo de produção acessível, particularmente quando se utiliza as dietas artificiais (D₁) e (D₂), que proporcionam melhores características biológicas e maior aumento populacional.

Assim, espera-se que os resultados apresentados nesta dissertação forneçam informações que auxiliem novos estudos com *E. annulipes* associados à predação de *D. saccharalis*, podendo-se obter um predador de qualidade e com menor custo, sendo inicialmente para pesquisas em campo e laboratório, esperando que no futuro esses inimigos naturais possam ser utilizados em programas de controle biológico aplicado em cana-de-açúcar e em vários outros agroecossistemas.

Referências

Coll M, Wajnberg E (2017) **Gestão ambiental de pragas**: desafios para agrônomos, economistas e formuladores de políticas. New York: John Wiley and Sons, 448 p.

De Bortoli SA, Truzzi CC, Nunes GS, Magalhães GO, Vieira NF, Santos NA, Cardoso CP (2018) Criação de insetos para pesquisa e alimentação. In.: Castilho RC, Truzzi CC, Pinto CPG (Eds.) **Tópicos em entomologia agrícola - XI**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda., p. 13-40.

Negm AA, Hensley SD (1969) Evaluation of certain biological control agents of the sugarcane borer in Louisiana. **Journal of Economic Entomology** 62:1008–1013.

Parra JRP (2009) A evolução das dietas artificiais e suas interações em ciência e tecnologia. In.: Panizzi AR, Parra JRP (Eds.) **Bioecologia e nutrição de insetos**: base para o manejo integrado de pragas. Brasília: Embrapa, p. 91-174.

Ramamurthi BN, Solayappan AR (1980) Dermapteran predators in the biological regulation of sugarcane borers in India. **Current Science** 49:72-73.

Rankin SM, Palmer JO (2009) Dermaptera: earwigs. In.: Resh VH, Cardé RT (Eds.) **Enciclopédia de insetos**. Nova York: Academic Press, p. 259-261.

Rankin SM, Palmer JO (2009) Dermaptera: earwigs. In.: Resh VH, Cardé RT (Eds.) **Enciclopédia de insetos**. Nova York: Academic Press, p. 259-261.

Shah MA, Khan AA (2013) Functional response - a function of predator and prey species. **The Bioscan** 8(3):751–758.