



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

DISSERTAÇÃO

ASPECTOS BIOLÓGICOS, PREDACÃO E RESPOSTA FUNCIONAL DE
Euborellia annulipes (Lucas) (DERMAPTERA: ANISOLABIDIDAE) TENDO
Plutella xylostella (L.) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) COMO PRESA

GILMAR DA SILVA NUNES

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA



**ASPECTOS BIOLÓGICOS, PREDÇÃO E RESPOSTA FUNCIONAL DE
Euborellia annulipes (Lucas) (DERMAPTERA: ANISOLABIDIDAE) TENDO
Plutella xylostella (L.) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) COMO PRESA**

GILMAR DA SILVA NUNES

Sob a orientação do Professor

JACINTO DE LUNA BATISTA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba como exigência para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**, área de concentração Agricultura Tropical

Areia-PB

Fevereiro de 2017

Ficha Catalográfica Elaborada na Seção de Processos Técnicos da
Biblioteca Setorial do CCA, UFPB, Campus II, Areia – PB.

N972a

Nunes, Gilmar da Silva.

Aspectos biológicos, predação e resposta funcional de *Euborellia annulipes* (Lucas) (Dermaptera: Anisolabididae) tendo *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) como presa / Gilmar da Silva Nunes. - Areia: UFPB/CCA, 2017.
86 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias.
Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2017.

Bibliografia.

Orientador: Jacinto de Luna Batista.

1. Tesourinhas – Controle biológico 2. *Plutella xylostella* – Presa 3. *Euborellia annulipes* – Comportamento da predação 4. Dermaptera I. Batista, Jacinto de Luna (Orientador) II. Título.

UFPB/CCA

CDU: 595.721(043.3)

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**TÍTULO: ASPECTOS BIOLÓGICOS, PREDÇÃO E RESPOSTA FUNCIONAL
DE *Euborellia annulipes* (Lucas) (DERMAPTERA: ANISOLABIDIDAE) TENDO
Plutella xylostella (L.) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) COMO PRESA**

AUTOR: GILMAR DA SILVA NUNES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE em
Agronomia (Agricultura Tropical) pela banca examinadora:



Prof. Dr. Jacinto de Luna Batista – DFCA/CCA/UFPB
(Orientador)



Profa. Dra. Maria José Araújo Wanderley – DAP/CCHSA/UFPB



Prof. Dr. Luciano Pacelli Medeiros de Macedo - IFPB

Data da realização: 17 de Fevereiro de 2017.



Presidente da banca examinadora
Jacinto de Luna Batista
(Orientador)

“As dificuldades preparam pessoas comuns para destinos extraordinários”

C.S. Lewis

DEDICO

A minha mãe: base, maior motivo e força para todas as vitórias conquistadas.

“Enquanto estiver você do outro lado aqui do outro eu consigo me orientar”

O Teatro Mágico

OFREÇO

Ao meu pai, irmãos e sobrinhos.

AGRADEÇO...

Aos meus pais Adelaide Ana da Silva Nunes e Geraldo Joaquim Nunes por me permitirem toda a atenção e amor necessários para motivação e conquistas.

Aos meus irmãos, em especial Maria da Saúde da Silva Nunes e Ana Alice da Silva Nunes, e a todos os meus sobrinhos pela motivação e companheirismo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do CCA da UFPB pela oportunidade de realização do curso.

Ao professor Dr. Jacinto de Luna Batista pelos ensinamentos, orientação e confiança ao longo da graduação e pós-graduação.

À banca examinadora pelas considerações e sugestões para melhoria desse trabalho, Dra. Maria José Araújo Wanderley e Dr. Luciano Pacelli Medeiros de Macedo, ao qual agradeço imensamente por toda a motivação e inspiração.

A todos os professores que contribuíram para minha formação.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida.

A MSc. José Bruno Malaquias e o Prof. Dr. Walter Esfraim Pereira, pelo apoio nas análises estatísticas.

A todos os colegas do Laboratório de Entomologia (LEN) do CCA/UFPB, pelo companheirismo e amizade, em especial Robério de Oliveira, Mileny dos Santos de Souza, Wennia Rafaelly Souza Figueireido, Matheus de Andrade Borba, Gemerson de Oliveira, Izabela Nunes do Nascimento, Severino Silva, Severino (Nino) e, principalmente, Thais Aparecida Vitoriano Dantas, companheira em toda a pesquisa.

A todos os colegas que a vida nos oferece durante nossas caminhadas, em especial Mário Leno Martins Vêras, Vinícius de Oliveira Barbosa, Mirelly Miguel Porcino, Renato Pereira Lima, Arliston Pereira Leite, Luana Vitória, Amanda Tomaz, Adelmo de Medeiros, Emanuel Costa, Júlia Eudócia, Renata Leandro...

Agradeço, enfim, a todos que contribuíram de forma direta e indireta para a conclusão desta etapa.

NUNES, G. S. **Aspectos biológicos, predação e resposta funcional de *Euborellia annulipes* (Lucas) (Dermaptera: Anisolabididae) tendo *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) como presa.** Areia, 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba. Orientador: Prof. Dr. Jacinto de Luna Batista.

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo caracterizar aspectos da biologia e avaliar o comportamento da predação e a resposta funcional de *Euborellia annulipes* consumindo lagartas e pupas de *Plutella xylostella*. Além disso, buscou-se comparar a eficiência de dois métodos estatísticos (Bootstrap e Marquadt) para estimativa dos parâmetros da resposta funcional, taxa de ataque (a) e manipulação (Th). Os experimentos foram conduzidos em condições de laboratório. Foram avaliados, inicialmente, o desenvolvimento ninfal, o peso do predador, a fecundidade, a fertilidade, a longevidade e a probabilidade de sobrevivência de machos e fêmeas de *E. annulipes* alimentada com lagartas de *P. xylostella* em primeiro + segundo, terceiro e quarto ínstares, e pupas de até um dia, com dois e três dias de idade. O comportamento predatório de *E. annulipes* tendo lagartas e pupas de *P. xylostella* como presa e o número de insetos consumidos por dia, em função da fase da presa e da idade das fases do predador (2, 4, 6, 8 e 10 dias), também foram registrados. A preferência pela fase da presa, o ganho de peso e a resposta funcional do predador, a e Th , em função das densidades da presa (30, 40, 50, 60 e 70 lagartas; 5, 10, 15, 20 e 25 pupas) foram analisados. Ninfas de *E. annulipes* apresentaram menor período de desenvolvimento quando se alimentaram com lagartas de *P. xylostella* de quarto ínstar, o peso das ninfas e dos adultos foi maior quando a tesourinha consumiu pupas de três dias de idade, a longevidade e probabilidade de sobrevivência da fase adulta não foram influenciadas pelo alimento consumido e a fertilidade da tesourinha só foi observada na alimentação com pupas. As movimentações das lagartas incitam a predação e pupas de *P. xylostella* são menos consumidas por ninfas, a partir do terceiro ínstar, e fêmeas de *E. annulipes*. No segundo, terceiro e quinto ínstares o consumo de lagartas apresentou respostas quadráticas e as fêmeas consomem a presa de forma linear. Pupas são consumidas de forma constante dos dois aos 10 dias de idade por ninfas no segundo e quinto ínstar e por fêmeas, mas são menos consumidas em relação a lagartas pelo predador a partir do seu terceiro ínstar. Há maior preferência de *E. annulipes* por lagartas de *P. xylostella* em relação à pupas. A resposta funcional da tesourinha é do tipo II em cada fase da presa e o método Bootstrap tem eficiência mais precisa para predição dos parâmetros de taxa de ataque e tempo de manipulação de *E. annulipes* em *P. xylostella*.

Palavras-chave: Controle biológico, taxa de ataque, tesourinhas, traça-das-crucíferas.

NUNES, G. S. **Life-history parameters, predation and functional responses of *Euborellia annulipes* (Lucas) (Dermaptera: Anisolabididae) with *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) as prey.** Areia, 2017. Master Thesis (Master in Agronomy). Center of Agricultural Sciences, Federal University of Paraíba. Advisor: Prof. Dr. Jacinto de Luna Batista.

ABSTRACT

This work aimed to characterize some biological aspects and to evaluate predatory behavior and functional responses of *E. annulipes* preying larvae and pupae of *Plutella xylostella*. Besides, it was aimed to compare the efficiency of statistical methods (Bootstrap and Marquadt) to estimate functional response parameters, a e Th . The experiments were conducted under laboratory conditions. Initially, we evaluated nymphal development, predator weight, fecundity, fertility, longevity, and survival probability of *E. annulipes* males and females with *P. xylostella* larvae at first + second, third, and fourth instars, and *P. xylostella* pupae with one, two and three days old. Predatory behavior of *E. annulipes* having *P. xylostella* larvae and pupae as prey were assessed, and the number of insects preyed per day as function of prey stage and predator age (2, 4, 6, 8 and 10 days) were recorded. The prey stage preference, weight gain and functional responses of predator as function of prey densities (30, 40, 50, 60 and 70 larvae; 5, 10, 15, 20 and 25 pupae) were analysed. *E. annulipes* nymphs presented shorter development period when fed on *P. xylostella* fourth instar larvae, the weight of nymphs and adult was higher when the ring-legged earwig fed on pupae of three days old, adult stage longevity and survival probability were not mediated by the food consumed, and earwig fertility was only checked in the feeding with pupae. The movements of *P. xylostella* larvae incite the predation and pupae are less consumed by nymphs, from the third instar, and *E. annulipes* females. In the second, third and fifth instars the consumption of larvae presented quadratic responses, and predator females consume these preys linearly. Pupae are consumed linearly from two to 10 days old by nymphs in the second, fifth instars and females, but are less consumed in relation to larvae by the predator from their third instar. There is greater preference of *E. annulipes* for *P. xylostella* larvae in relation to pupae. The functional response of the earwig is type II for each prey stage, and Bootstrap method has more precise efficiency for predicting attack rate and handling time parameters of *E. annulipes* on *P. xylostella*.

Keywords: Attack rate, biological control, diamondback moth, ring-legged earwigs.

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I

Tabela 1	Desenvolvimento e sobrevivência dos estádios ninfais da tesourinha <i>Euborellia annulipes</i> alimentados com lagartas (L) e pupas (P) de <i>Plutella xylostella</i>	26
Tabela 2	Duração média (dias) da fase ninfal, razão sexual (rs) e longevidade (dias) de machos e fêmeas de <i>Euborellia annulipes</i> alimentados com lagartas (L) e pupas (P) de <i>Plutella xylostella</i>	28
Tabela 3	Fecundidade e fertilidade de <i>Euborellia annulipes</i> alimentada com lagartas (L) e pupas (P) de <i>Plutella xylostella</i> ..	32

ARTIGO II

Tabela 1.	Número médio ($\pm$ EP) de lagartas e pupas de <i>Plutella xylostella</i> consumidas/dia por ninfas e fêmeas de <i>Euborellia annulipes</i> em laboratório.	45
------------------	---	----

ARTIGO III

Tabela 1.	Consumo (%) $\pm$ EP de lagartas e pupas de <i>Plutella xylostella</i> por fêmeas adultas de <i>Euborellia annulipes</i> durante 6 h de exposição em testes com e sem chance de escolha.....	83
Tabela 2.	Estimativas de probabilidade máximas das regressões de proporção de consumo de fêmeas adultas de <i>Euborellia annulipes</i> em função das densidades da presa <i>Plutella xylostella</i>	83
Tabela 3.	Critérios de avaliação de modelos de resposta funcional de <i>Euborellia annulipes</i> utilizando como presas lagartas e pupas de <i>Plutella xylostella</i> ...	85
Tabela 4.	Estimativa média da taxa de ataque (a) e tempo de manipulação (Th) (95% intervalos de confiança) de fêmeas adultas de <i>Euborellia annulipes</i> predando lagartas e pupas de <i>Plutella xylostella</i> durante 24 h, baseada na equação de Roger.....	85

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I

- Figura 1 Peso de ninfas (A) e adultos (B) de *Euborellia annulipes* alimentados com lagartas (L) em diferentes ínstaes e pupas (P) em diferentes idades (dias de desenvolvimento) de *Plutella xylostella*. Médias ($\pm$ EP) seguidas de mesma letra minúscula não se diferem entre as fases de desenvolvimento da presa e de letras maiúsculas entre as fases do predador pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade..... 30
- Figura 2 Probabilidade de sobrevivência de adultos de *Euborellia annulipes* alimentados com lagartas (L) em diferentes ínstaes e pupas (P) de *Plutella xylostella* com diferentes dias de idade. Log-Rank test; $\chi^2 = 60,3$; $p > 0,005$ 34

ARTIGO II

- Figura 1.** Curvas de regressão ajustadas para o número médio de lagartas (—●—) e pupas (—■—) de *Plutella xylostella* consumidas por ninfas de (a) primeiro, (b) segundo, (c) terceiro, (d) quarto e (e) quinto ínstaes e (f) fêmeas adultas de *Euborellia annulipes*, em função da idade do predador. Médias seguidas de mesma letra indicam que o consumo das fases da presa em cada intervalo independente se difere estatisticamente pelo teste F ($p < 0,05$); ^{ns}Diferenças não significativas 47
- Figura 2.** Comportamento da predação de pupas e lagartas de *Plutella xylostella* por ninfas de *Euborellia annulipes* de primeiro (a, b) e quinto ínstaes (c), presas consumidas por ninfas de terceiro ínstar (d, e), exúvia e pós-ecdise ninfa-adulto (f) e comportamento do ataque de fêmeas adultas sobre lagartas (g) e pupas (h) em condições de laboratório..... 48

ARTIGO III

- Figura 1.** Número de lagartas (A) e pupas (B) de *Plutella xylostella* consumidas durante 24 h por fêmeas de *Euborellia annulipes* em função das densidades estabelecidas para cada presa. 84
- Figura 2.** Ganho de peso (%) das fêmeas adultas de *Euborellia annulipes* consumindo (A) lagartas – $F = 2,64$; $P = 0,05$; e (B) pupas – $F = 3,04$; $P < 0,05$ de *Plutella xylostella* em diferentes densidades. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).. 86

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	13
REFERÊNCIAS	15
 ARTIGO I.....	 18
Desenvolvimento e reprodução de <i>Euborellia annulipes</i> (Lucas) (Dermaptera: Anisolabididae) alimentada com <i>Plutella xylostella</i> (L.) (Lepidoptera: Plutellidae)	
Resumo	19
Abstract.....	19
Introdução.....	20
Material e Métodos	22
<i>Criação do predador</i>	22
<i>Criação da presa</i>	22
<i>Variáveis avaliadas e análise estatística</i>	23
Resultados e Discussão.....	24
Conclusões.....	34
Referências	35
 ARTIGO II	 40
Predação de lagartas e pupas da traça-das-crucíferas por <i>Euborellia annulipes</i>	
Resumo	41
Abstract.....	41
INTRODUÇÃO.....	42
MATERIAL E MÉTODOS.....	43
Localização e condições do experimento	43
Criação do predador.....	43
Criação da presa.....	44
Capacidade de predação.....	44
Análise dos dados	45
RESULTADOS	45
Predação diária.....	45

Predação em função da idade do predador	46
Comportamento da predação	48
DISCUSSÃO	49
CONCLUSÕES	51
LITERATURA CITADA	51
 ARTIGO III	 56
Preferência e resposta funcional de <i>Euborellia annulipes</i> a <i>Plutella xylostella</i>	
Resumo	57
Abstract.....	58
1. Introdução.....	59
2. Material e métodos.....	61
2.1. Localização e condições do experimento	61
2.2. Criação do predador.....	62
2.3. Criação da presa	62
2.4. Teste de escolha	63
2.5. Resposta funcional e ganho de peso	64
2.6. Análise dos dados	64
3. Resultados	66
3.1. Preferência de consumo.....	66
3.2. Resposta funcional e ganho de peso	67
4. Discussão	69
5. Conclusões.....	73
Referências	74

INTRODUÇÃO

A produção de hortaliças aumenta anualmente no Brasil com maiores incrementos na produtividade e com destaque cada vez maior para as pequenas produções, próximas aos centros consumidores (CAMARGO FILHO et al., 2010; SILVA et al., 2015). As brássicas, ou crucíferas, são hortaliças de destaque no cenário de produção mundial, importantes fontes da alimentação humana e matéria prima para indústrias (SCHMIDT & BANCROFT, 2010; CARVALHO et al., 2013; GONÇALVES et al., 2013). Essas plantas têm sua origem no mediterrâneo e o seu cultivo é datado de 1500 a.C., sendo considerado um dos mais antigos no mundo, chegando no Brasil durante a colonização portuguesa, com os padres jesuítas a partir de 1549 (RAYMER, 2002; MADEIRA et al., 2008).

Um dos maiores entraves à produção de brássicas no mundo é o ataque do microlepidóptero *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), conhecido como traça-das-crucíferas, o qual causa danos às plantas, sendo no Brasil principalmente em couve e repolho (SILVA-TORRES et al., 2010). Trata-se de um inseto-praga de ocorrência durante o ano todo no Brasil, implicando em prejuízos aos produtores (CASTELO BRANCO & MELO, 2002; SILVA et al., 2003) e, por isso, tem se tornado alvo de várias pesquisas em todas as regiões produtoras, visando medidas de controle tecnicamente adequadas, economicamente satisfatórias e ecologicamente corretas (THULER, 2006).

Para redução das infestações de *P. xylostella* no campo, a principal estratégia de controle é o uso de inseticidas químicos sintéticos, em virtude da rapidez e eficiência no controle. No entanto, este inseto-praga adquire facilmente resistência aos ingredientes ativos dos produtos (DE BORTOLI et al., 2011). Além do mais, esses produtos sintéticos, principalmente os comerciais, apesar de serem eficientes apresentam diversos fatores deletérios ao homem e ao meio ambiente, fazendo com que a busca por medidas de controle alternativas sejam adotadas. O controle biológico é uma das estratégias que mais ganha evidência em pesquisas científicas visando à diminuição do uso de produtos químicos para redução das infestações da traça-das-crucíferas (SARFRAZ et al, 2005).

O controle biológico utiliza inimigos naturais de insetos-praga como agentes, os quais podem ocorrer naturalmente em produções agrícolas ou podem, a partir de estudos, serem introduzidos nos campos de produção ou casas de vegetação. Para isso, o

conhecimento das interações entre os predadores entomófagos e a presa, definidas pelo conhecimento do comportamento de ambos (WASSERMAN et al., 2016), é fundamental para determinação de estratégias de controle. A predação dos entomófagos pode ser mediada por diversos fatores que podem resultar em deficiência ou eficiência no número de presas consumidas.

As presas podem dificultar ou facilitar a ação predatória em virtude da sua fase de desenvolvimento e tamanho, mecanismos de defesa como as estruturas que protegem pupas (VACARI et al., 2013); movimentações (ZANUNCIO et al., 2008; SILVA et al., 2012); ou fatores ecológicos, como as plantas hospedeiras (DE BORTOLI et al., 2014), a estrutura do habitat (JANSSEN et al., 2007) e as densidades populacionais (HOLLING, 1959). As lagartas de *P. xylostella* apresentam características de movimentações rápidas ao sentirem-se ameaçadas (VACARI et al., 2012) e as pupas são envoltas por um emaranhado de fios de seda formando o casulo (SARFRAZ et al., 2011). Em relação ao predador, a preferência alimentar (DESURMONT & WESTON, 2008; SANTOS et al., 2016), a habilidade de impactar os comportamentos biológicos e ecológicos da presa (WERNER & PEACOR, 2003), a facilidade de criação em laboratório e liberação em campo para uso em manejo integrado de pragas expressam fatores positivos para defini-lo como agente de controle potencial.

Dentre o grande número de insetos predadores, a tesourinha *Euborellia annulipes* (Lucas) (Dermaptera: Anisolabididae) tem ampla distribuição geográfica e com hábitos alimentares entomófagos (KOCAREK et al., 2015), e uma gama de presas consideradas de importância agrícola, mas na literatura poucas pesquisas evidenciam seus aspectos predatórios e potencial de uso no controle biológico de insetos-praga. Silva et al. (2009) evidenciaram o desenvolvimento biológico de *E. annulipes* alimentada com ovos e lagartas neonatas de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), e a possibilidade desse predador ser criado em laboratório com dieta artificial (MIRANDA, 2011). Assim, estudos visando caracterizar os aspectos inerentes à biologia, ao comportamento da predação e as taxas de ataque do predador sobre a presa são essenciais para aplicação do manejo integrado de pragas.

REFERÊNCIAS

- CAMARGO FILHO, W. P., CAMARGO, F. P., ALVES, H. S. Algumas sugestões para a expansão da agropecuária orgânica no estado de São Paulo. **Informações econômicas**, v. 37, p. 50-61, 2010.
- CARVALHO, C., KIST, B. B., POLL, H. **Anuário Brasileiro de Hortaliças**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 88p. 2013.
- CASTELO BRANCO, M.; MELO, C. A. Resistência a abamectin e cartap em populações de traça-das-crucíferas. **Horticultura brasileira**, v. 20, n. 4, p. 541-543, 2002.
- DE BORTOLI, S. A., VACARI, A. M., GOULART, R. M. SANTOS, R. F., VOLPE, H.X.L., FERRAUDO, A. S. Capacidade reprodutiva e preferência da traça-das-crucíferas para diferentes brassicáceas. **Horticultura brasileira**, v. 29, p. 187-192, 2011.
- DE BORTOLI, S. A.; GRAVENA, A. R.; VACARI, A. M.; LAURENTIS, V. L.; DE BORTOLI, C. P. Resposta funcional da joaninha *Cryptolaemus* predando cochonilha branca em diferentes temperaturas e substratos vegetais. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 3, p. 63-71, 2014.
- DESURMONT, G. A.; WESTON, P. A. Influence of prey size and environmental factors on predation by *Podisus maculiventris* (Hemiptera: Pentatomidae) on virburnum leaf beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). **Canadian entomologist**, v. 140, p. 192-202, 2008.
- GONÇALVES, E. M.; ALEGRIA, C.; ABREU, M. Benefits of brassica nutraceutical compounds on human health. In: LANG, M. (ed.) **Brassicaceae: Characterization, functional genomics and health benefits**. Nova Science Publishers: Hauppauge, NY, USA, 2013; pp. 20–65.
- HOLLING, C. The components of predation as revealed by a study of small-mammal predation of the European pine sawfly. **Canadian entomologist**, v. 91, p. 293–320, 1959.
- JANSSEN, A.; SABELIS, M. W.; MAGALHÃES, S.; MONTSERRAT, M.; VAN DER HAMMEN, T. Habitat structure affects intraguild predation. **Ecology**, v. 88, n. 11, p. 2713-2719, 2007.
- KOCAREK, P., DVORAK, L., KIRSTOVA, M. *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae), a new alien earwig in Central European greenhouses: potential pest or beneficial inhabitant? **Applied entomology and zoology**, v. 50, n. 2, p. 201-206, 201-206, 2015.

MADEIRA, N. R.; REIFSCHNEIDER, F. J. B.; GIORDANO, L. B. Contribuição portuguesa à produção e ao consumo de hortaliças no Brasil: uma revisão histórica. **Horticultura brasileira**, v. 26, n. 4, p. 428-432, 2008.

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

RAYMER P. L. **Canola**: an emerging oilseed crop. In: JANWICK J.; WHIPKEY A. (Eds.). Trends in new crops and new uses. Alexandria: ASHS Press, p. 122-126, 2002.

SANTOS, B. D. B.; RAMALHO, F. S.; MALAQUIAS, J. B.; LIRA, A.; PACHÚ, J. K.; FERNANDES, F. S.; ZANUNCIO, J. C. How predation by *Podisus nigrispinus* influenced by developmental stage and density of its prey *Alabama argillacea*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, v.158, n.2, p.142–151, 2016.

SARFRAZ, M., KEDDIE, A. B., DOSDALL, L. M. Biological control of the diamondback moth, *Plutella xylostella*: a review. **Biocontrol science and technology**, v. 15, n. 8, p. 763-789, 2005.

SARFRAZ, R. M.; DOSDALL, L. M.; KEDDIE, A. B.; MYERS, J. H. Larval survival, host plant preferences and developmental responses of the diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) on wild brassicaceous species. **Entomological science**, v. 14, n. 1, p. 20-30, 2011.

SCHMIDT, R., BANCROFT, I. **Genetics and Genomics of the Brassicaceae**; Springer: Berlin, Germany. 2010. p. 677.

SILVA, A. B.; BATISTA, J. L.; BRITO, C. H. Aspectos biológicos de *Euborellia annulipes* sobre ovos de *Spodoptera frugiperda*. **Engenharia ambiental**, v. 6, p. 482-495, 2009.

SILVA, R. B. D.; CORRÊA, A. S.; DELLA LUCIA, T. M. C.; PEREIRA, A. I. A.; CRUZ, I.; ZANUNCIO, J. C. Does the aggressiveness of the prey modify the attack behavior of the predator *Supputius cincticeps* (Stal) (Hemiptera, Pentatomidae)? **Revista brasileira de entomologia**, v.56, n.2, p.244-248, 2012.

SILVA, V. C. A., BARROS, R., MARQUES, E. J., TORRES, J. B. Suscetibilidade de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) aos fungos *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. E *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorok. **Neotropical entomology**, v. 32, n. 4, p. 653-658, 2003.

SILVA, W. F., MARQUES, D. J., SILVA, E. C., BIANCHINI, H. C., ISHIMOTO, F. A., PEREIRA JÚNIOR, M. J. Diagnosis of vegetable production in the metropolitan region of Belo Horizonte, Brazil. **Horticultura brasileira**, v. 33, n. 3, p. 368-372, 2015.

SILVA-TORRES, C. S. A., PONTES, I. V. A. F., TORRES, J. B., BARROS, R. New records of natural enemies of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) in Pernambuco, Brazil. **Neotropical entomology**, v. 39, n. 5, p. 835-838, 2010.

THULER, R. T. *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae): Táticas para Manejo Integrado em Brássicas. 2006. 79 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Entomologia Agrícola) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

VACARI, A. M.; DE BORTOLI, S. A.; TORRES, J. B. Relationships between predation by *Podisus nigrispinus* and developmental phase and density of its prey, *Plutella xylostella*. **Entomologia experimentalis et applicata**, v. 145, p. 30-37, 2012.

VACARI, A. M.; DE BORTOLI, S. A.; GOULART, R. M.; VOLPE, H. X.; OTUKA, A. K.; VEIGA, A. C. Comparison of eggs, larvae, and pupae of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) as prey for *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 106, p. 235-242, 2013.

WASSERMAN, R. J.; ALEXANDER, M. E.; WEYL, O. L. F.; BARRIOS-O'NEIL, D.; FRONEMAN, P. W.; DALU, T. Emergent effects of structural complexity and temperature on predator–prey interactions. **Ecosphere**, v. 7, n. 2, p. 1-11, 2016.

WERNER, E. E.; PEACOR, S. D. A review of trait-mediated indirect interactions in ecological communities. **Ecology**, v. 84, p. 1083–1100, 2003.

ZANUNCIO, J. C., SILVA, C. A. D. D., LIMA, E. R. D., PEREIRA, F. F., RAMALHO, F. D. S., E SERRÃO, J. E. Predation rate of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae with and without defense by *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). **Brazilian archives of biology and technology**, v. 51, n. 1, p. 121-125, 2008.

ARTIGO I

Desenvolvimento e reprodução de *Euborellia annulipes* (Lucas) (Dermaptera: Anisolabididae) alimentada com *Plutella xylostella* (L) (Lepidoptera: Plutellidae)

Desenvolvimento e reprodução de *Euborellia annulipes* (Lucas) (Dermaptera: Anisolabididae) alimentada com *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae)

Resumo

Algumas tesourinhas (Dermaptera) são eficientes predadoras de lepidópteros-praga. Considerando-se este aspecto, o presente trabalho objetivou caracterizar e quantificar o desenvolvimento biológico, o peso e a reprodução de *Euborellia annulipes* (Lucas) alimentada com lagartas e pupas de *Plutella xylostella* (L.). Foram avaliados o desenvolvimento e sobrevivência de cada estágio e do período ninfal completo, razão sexual, longevidade de adultos e probabilidade de sobrevivência, peso de ninfas e adultos, período de pré-oviposição, número de oviposições e de ovos/oviposição, período de incubação e viabilidade embrionária. O menor período de desenvolvimento de *E. annulipes* ocorreu quando a tesourinha foi alimentada com lagartas de quarto ínstar, o maior peso foi verificado quando as ninfas e adultos consumiram pupas de *P. xylostella* e a longevidade e sobrevivência de adultos não se diferenciou em função da alimentação com a presa utilizada. As pupas da traça-das-crucíferas são mais adequadas para o maior número de oviposições e produção de ovos viáveis da tesourinha.

Palavras-chave: Controle biológico, Brassicaceae, tesourinhas, traça-das-crucíferas

Development and reproduction of *Euborellia annulipes* (Lucas) (Dermaptera: Anisolabididae) fed on *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae)

Abstract

Some earwigs (Dermaptera) are related as efficient predators of lepidopteran-pests. In this sense, the present work aimed to characterize and quantify the biological development, weight, and reproduction of *Euborellia annulipes* (Lucas) fed on *Plutella xylostella* (L.)

larvae and pupae. Development and survival of each instar and complete nymph stage, sex ratio, adulthood longevity and survival probability, nymphs and adults weight, pre-oviposition, number of clutches and eggs/clutch, period of incubation and embryonic feasibility were evaluated. Less developmental period occurred when the ring-legged earwig fed with larvae at fourth instar, the higher weight was verified when nymphs and adults preyed *P. xylostella* pupae and the longevity and survival probability do not differ as function of feeding with the prey provided. Diamondback moth pupae are more adequate to higher clutches and production of feasible eggs of the ring-legged earwig.

Keywords: Biological control, Brassicaceae, diamondback moth, ring-legged earwigs

Introdução

As brássicas, ou crucíferas, (Brassicaceae) são plantas de importância econômica cultivadas em todas as regiões do mundo. Dentre as mais cultivadas, se destacam as hortaliças como a couve (*Brassica oleracea* var. *acephala*), o repolho (*B. oleracea* var. *capitata*), a rúcula (*Eruca sativa* Miller), a couve-flor (*B. oleracea* var. *botrytis*) e oleaginosas como a canola (*Brassica napus*) (Carvalho *et al* 2013, Gonçalves *et al* 2013). No Brasil, o cultivo das crucíferas é facilitado pelo curto período de produção e possibilidade de consorciação com outras culturas, além de facilitar o aproveitamento dos espaços e manutenção das pequenas propriedades aumentando o seu destaque às produções agrícolas de base familiar (Montezano & Peil 2006).

O principal fator limitante da produção de brássicas em todo o mundo é a traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), inseto-praga chave destas plantas. Devido ao alto potencial reprodutivo e ao aspecto cosmopolita, o inseto apresenta um bom desenvolvimento em diferentes espécies e genótipos de brássicas gerando custos

significativos à produção (Furlong *et al* 2013) podendo ocasionar perdas de até 90% (Saeed *et al* 2010, De Bortoli *et al* 2011, Boiça Júnior *et al* 2011, Zalucki *et al* 2012).

A utilização de inseticidas químicos sintéticos ainda é a técnica predominante no controle das infestações de *P. xylostella*, principalmente pela facilidade de aplicação e efetividade (Gong *et al* 2013). No entanto, preocupações são geradas em decorrência das contaminações destes produtos ao meio ambiente e ao homem, pelos resíduos deixados nos alimentos (Nguyen *et al* 2008, Passos & Reis 2013), pela ação tóxica sobre organismos não alvo e a resistência que os insetos-praga adquirem aos compostos ativos, decorrente da continuidade de aplicação (Cheng *et al* 2008). Dessa forma, a adoção de estratégias econômica e ambientalmente viáveis aos produtores é primordial para uma agricultura sustentável.

Muito se discute sobre a produção integrada rumo a uma agricultura mais sustentável e o controle biológico é uma das alternativas para a redução ou eliminação do uso de inseticidas sintéticos. Estudos com inimigos naturais de *P. xylostella* são imprescindíveis e a ação de diferentes agentes de controle é reportada ao longo dos anos (Almeida *et al* 2009, Brito *et al* 2009, Zago *et al* 2010, Vacari *et al* 2013, Rondelli *et al* 2013). Várias espécies de dermápteros entomófagos, conhecidos como tesourinhas, estão associadas a diferentes habitats e culturas agrícolas (Abramson *et al* 2007, Frizzas *et al* 2014) e podem atuar de forma eficiente sobre diversos insetos-praga, por serem predadores vorazes com alta capacidade de ataque e potencial de sobrevivência, bem como facilidade de criação em laboratório. Os dermápteros *Doru* spp. (Dermaptera: Forficulidae) e *Euborellia* spp. (Dermaptera: Anisolabididae) são predadores entomófagos relatados no controle de alguns insetos-praga no Brasil (Silva *et al* 2010, Araújo *et al* 2011).

A espécie *Euborellia annulipes* (Lucas) é cosmopolita (Kocarek *et al* 2015) e a sua ação predatória tem sido apresentada (Lemos *et al* 1999, Silva *et al* 2009a). De acordo com

Lemos et al. (2003), a diversidade de espécies e de habitats existentes entre os dermápteros entomófagos, o hábito alimentar generalista e os estudos conduzidos em laboratório são elementos que demonstram a importância e o potencial destes predadores em programas de manejo integrado de pragas. Diante disso, o objetivo desse trabalho foi caracterizar e quantificar o desenvolvimento biológico, o peso e a reprodução de *E. annulipes* quando exposta a alimentação com lagartas e pupas da traça-das-crucíferas *P. xylostella*.

Material e Métodos

Criação do predador

O predador foi obtido de criação no Laboratório de Entomologia, Campus II da Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, em condições de temperatura de 25 ± 2 °C, umidade relativa do ar de $70 \pm 10\%$ e fotofase de 12 h, de acordo com a metodologia adotada por Silva *et al* (2009a). Os insetos eram mantidos em recipientes de criação (13 cm de largura x 20 cm de comprimento x 7 cm de altura) fechados com tampa perfurada + tecido *voile* numa densidade média de 40 ninfas. Machos e fêmeas foram agrupados numa densidade de 32 insetos (um macho para três fêmeas). O interior de cada recipiente continha papel filtro umedecido e a dieta, quantidade para 1000 g de dieta (% de cada componente): 130 g de leite em pó (13%), 220 g de levedo de cerveja (22%), 350 g de ração inicial para frango de corte (35%), 260 g de farelo de trigo (26%) e 40 g de nipagin (4%).

Criação da presa

Lagartas, pupas e adultos de *P. xylostella* foram coletados em área de produção comercial de repolho no município de Areia-PB e criadas no laboratório em condições de temperatura média de 26 ± 2 °C, umidade relativa do ar de $70 \pm 10\%$ e fotofase de 12 h. As lagartas foram criadas em recipientes plásticos transparentes (25 cm de largura x 36 cm de

comprimento x 12 cm de altura) fechados com tecido *voile* (50 cm de comprimento x 35 cm de largura) e alimentadas com folhas de couve (*B. oleracea* var. *acephala*) cultivar Geórgia.

As pupas eram retiradas das folhas com auxílio de um pincel e acondicionadas até emergência em tubos de ensaio com fundo chato (8,5 cm de altura x 2 cm de diâmetro) vedados com algodão hidrófilo. Após a emergência, fêmeas e machos foram acondicionados em gaiolas plásticas (6,5 cm de diâmetro x 15 cm de altura) fechadas com tecido *voile* na parte superior contendo no seu interior folhas de couve para oviposição. As folhas com os ovos foram retiradas e acondicionadas dentro de outro tipo de recipiente (13 cm de comprimento x 20 cm de largura x 7 cm de altura) até a eclosão e folhas novas foram adicionadas nas gaiolas a cada dois dias. O alimento dos adultos consistia de uma solução de mel (5%) + água (95%) disposta em algodão hidrófilo na parte superior da gaiola.

Variáveis avaliadas e análise estatística

Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado com seis tratamentos contendo 20 repetições (um indivíduo por repetição). Os tratamentos (presas) utilizados foram constituídos de lagartas de primeiro + segundo (T_1), de terceiro (T_2) e de quarto ínstares (T_3), pupas de até um dia (T_4), com dois dias (T_5) e três dias de idade (T_6). As avaliações realizadas foram estabelecidas em função do desenvolvimento do predador. Foram avaliadas as seguintes variáveis:

Desenvolvimento ninfal – ninfas de eclosão recente até 12 h obtidas da criação de *E. annulipes* foram separadas em placas de Petri (8,5 cm de diâmetro x 1,5 cm de altura) contendo papel filtro umedecido com água destilada, folhas de couve e as presas de cada tratamento. Diariamente, o período entre a realização das ecdises, visualizadas pela presença da exúvia liberada durante a mudança de ínstar, e a relação entre o número de ninfas vivas e mortas foram registrados.

Peso do predador – o peso foi avaliado cinco dias após o início da exposição das ninfas e 15 dias após o início da exposição dos adultos às presas. Os insetos foram retirados das placas de criação com auxílio de um pincel e pesado em uma balança analítica de precisão (BioScale® FA2204).

Fecundidade e fertilidade – os insetos que alcançaram a fase adulta foram separados por sexo em placas de Petri. O período de pré-oviposição (tempo médio em que as fêmeas levam para realizar as primeiras posturas), o número de oviposições e de ovos/fêmea durante a fase adulta, o período de incubação e a viabilidade embrionária foram avaliados.

Longevidade – a longevidade dos adultos da tesourinha foi avaliada registrando-se diariamente o tempo em que os machos e fêmeas do predador permaneciam vivos. Também foi avaliada a probabilidade de sobrevivência dos adultos em função da alimentação.

Os dados de desenvolvimento e peso de ninfas foram agrupados em esquema fatorial 5 x 6 (estádios ninfais x tratamentos) e os de peso e longevidade de adultos em esquema fatorial 2 x 6 (sexos x tratamentos). Os valores médios das variáveis avaliadas foram submetidos à análise de variância (ANOVA), a partir do Proc GLM (Cody, 2015) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A sobrevivência ninfal e a razão sexual foram comparadas entre os tratamentos por análise de frequência com resposta de distribuição binomial usando o Proc GLIMMIX (Cody, 2015). A probabilidade de sobrevivência dos adultos do predador foi analisada a partir de teste não paramétrico e estimada pelo teste de sobrevivência de Kaplan-Meier (Log-Rank test) utilizando-se o software MedCalc®.

Resultados e Discussão

Foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos ($F = 12,11$; $p < 0,001$), os ínstaes do predador ($F = 272,54$; $p < 0,001$) e entre a interação tratamento x

ínstares ($F = 3,31$; $p < 0,001$). Quando expostas a alimentação com lagartas e pupas da traça-das-crucíferas com três dias, ninfas de *E. annulipes* em primeiro ínstar apresentaram menor duração. O segundo ínstar ninfal do predador apresentou desenvolvimento estatisticamente igual quando se alimentou da presa em qualquer estágio de desenvolvimento. O terceiro ínstar apresentou menor duração quando consumiu lagartas de *P. xylostella* em quarto ínstar e maior com pupas de um e dois dias de idade. Ao consumirem lagartas de quarto ínstar e pupas com três dias de idade a duração do quarto ínstar ninfal da tesourinha foi menor e, consumindo lagartas de primeiro + segundo ínstares da presa a duração foi maior. O quinto ínstar ninfal da tesourinha apresentou menor duração do estágio quando o predador se alimentou com lagartas de *P. xylostella* em quarto ínstar e maior quando consumiu lagartas de terceiro ínstar (Tabela 1A).

Comparando-se a duração de cada estágio dentro de cada tratamento, ninfas de primeiro ao terceiro ínstar de *E. annulipes* apresentaram menor período de desenvolvimento quando se alimentaram da presa em qualquer estágio e idade, em exceção, a alimentação com pupas de dois dias de idade forneceu menor valor médio da duração ao segundo ínstar ninfal do predador. O maior período de duração foi observado quando *E. annulipes* se encontrava no quinto ínstar ninfal em qualquer tratamento (Tabela 1A).

A sobrevivência das ninfas do primeiro ao quinto ínstar de *E. annulipes* variou de acordo com os tratamentos, sendo os menores valores estimados no tratamento com pupas de um dia (Tabela 1B). As ninfas de primeiro ínstar da tesourinha apresentaram maior sobrevivência quando expostas a alimentação com lagartas de primeiro + segundo e de quarto ínstares ($F = 13,1$), as ninfas de segundo quando consumiram lagartas de quarto ínstar e pupas com três dias ($F = 25,8$; $p < 0,001$), e as ninfas de terceiro ($F = 43,9$) e quarto ínstares ($F = 44,3$) quando consumiram pupas com três dias de idade ($p < 0,001$). Lagartas e pupas

com três dias de idade de *P. xylostella* forneceram maiores viabilidades para o quinto ínstar ninfal de *E. annulipes* ($F = 39,9$; $p < 0,001$) (Tabela 1B).

Tabela 1 Desenvolvimento e sobrevivência dos estádios ninfais da tesourinha *Euborellia annulipes* alimentados com lagartas (L) e pupas (P) de *Plutella xylostella*.

Tratamentos	A) Duração (dias)				
	1º instar	2º instar	3º instar	4º instar	5º instar
L 1º+2º ínstar	8,3±0,06 cC	7,9±0,06 aC	8,7±0,06 abC	12,5±0,07 aB	14,7±0,08 abcA
L 3º ínstar	8,2±0,06 cC	7,7±0,06 aC	7,7±0,05 abC	10,7±0,05 abB	16,4±0,09 aA
L 4º ínstar	8,2±0,06 cBC	7,5±0,06 aC	7,2±0,05 bC	9,7±0,05 bB	12,9±0,09 cA
P 1 dia	10,3±0,09 abC	8,5±0,08 aC	9,8±0,07 aC	11,1±0,05 abB	14,2±0,07 bcA
P 2 dias	10,7±0,06 aBC	8,3±0,04 aD	9,1±0,05 aCD	11,0±0,05 abB	15,9±0,07 abA
P 3 dias	8,5±0,06 bcC	7,9±0,05 aC	8,7±0,06 abBC	10,3±0,05 bB	15,9±0,08 abA
CV(%) = 17,46					
	B) Sobrevivência (%)				
L 1º+2º ínstar	100,0±0,00 a	90,0±0,02 ab	85,0±0,02 bc	85,0±0,02 b	85,0±0,02 a
L 3º ínstar	90,0±0,02 b	85,0±0,02 b	85,0±0,02 bc	85,0±0,02 b	85,0±0,02 a
L 4º ínstar	100,0±0,00 a	95,0±0,01 a	90,0±0,02 ab	90,0±0,02 ab	90,0±0,02 a
P 1 dia	75,0±0,03 d	70,0±0,02 c	55,0±0,02 c	55,0±0,02 d	55,0±0,02 c
P 2 dias	85,0±0,02 c	85,0±0,02 b	80,0±0,02 bc	75,0±0,02 c	75,0±0,02 b
P 3 dias	95,0±0,01 b	95,0±0,01 a	95,0±0,01 a	95,0±0,01 a	90,0±0,02 a

Médias ($\pm$ EP) seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não se diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A idade da fase de desenvolvimento da presa foi um fator que influenciou no desenvolvimento das ninfas de *E. annulipes* e isso foi observado por Silva *et al* (2009b) alimentando esta mesma espécie de tesourinha com ovos de *S. frugiperda* com três dias de idade. Os valores observados por esses autores indicaram maior período de desenvolvimento

para ninfas em primeiro, segundo, terceiro e quarto ínstaes, em relação ao observado nesta pesquisa.

As menores viabilidades percentuais do primeiro ínstar da tesourinha podem estar relacionadas ao custo energético gasto para romper o mecanismo de proteção das pupas, o que pode impedir o acesso ao alimento ou não incitar a predação, principalmente nos primeiros dias após a eclosão. Pupas mais velhas podem apresentar conteúdo nutricional mais adequado às ninfas do predador a partir do segundo ínstar. Heterópteros predadores, como *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Hemiptera: Pentatomidae) predam pupas de *P. xylostella* nos primeiros ínstaes ninfais (Vacari et al 2013) e, diferente dos dermápteros, apresentam aparelho bucal com características morfológicas diferenciadas que possivelmente facilitem o acesso às pupas sem necessidade do rompimento da proteção e atribui menor custo energético das ninfas. Em contrapartida, o consumo e sobrevivência de ninfas neonatas de *P. nigrispinus* não foram relatados por estes autores, ou seja, tesourinhas predadoras já exercem suas ações predatórias desde o primeiro estágio ninfal.

A menor duração observada para toda a fase ninfal de *E. annulipes* foi de 45 dias, quando foram fornecidas lagartas de quarto ínstar de *P. xylostella*. Foi observado que houve diferenças na razão sexual da tesourinha, com maiores valores verificados nos tratamentos lagartas de quarto ínstar e pupas de um dia de idade e o menor no tratamento lagartas de primeiro + segundo ínstaes da presa. Os adultos não apresentaram diferenças estatísticas no seu desenvolvimento quando submetidos a qualquer fase ou estágio de desenvolvimento da presa (Tabela 2).

Tabela 2 Duração média (dias) da fase ninfal, razão sexual (rs) e longevidade (dias) de machos e fêmeas de *Euborellia annulipes* alimentados com lagartas (L) e pupas (P) de *Plutella xylostella*.

Tratamentos	Fase ninfal ¹	rs ²	Fase adulta ³	
			Machos	Fêmeas
L 1º+2º ínstar	52,9 ± 0,10 a	0,47 c	119,1 ± 0,76	111,4 ± 0,59
L 3º ínstar	50,9 ± 0,12 a	0,56 b	125,9 ± 0,70	105,1 ± 0,61
L 4º ínstar	45,4 ± 0,12 b	0,78 a	128,3 ± 0,41	112,2 ± 1,22
P 1 dia	54,5 ± 0,21 a	0,73 a	117,7 ± 0,35	130,3 ± 1,30
P 2 dias	54,5 ± 0,13 a	0,57 b	121,0 ± 0,61	116,8 ± 0,69
P 3 dias	50,6 ± 0,11 a	0,61 b	116,1 ± 0,55	95,9 ± 0,55
CV(%)	8,65	$\chi^2 = 1,5$	24,01	

¹Médias (± EP) seguidas de mesma letra minúscula na coluna e por letras maiúsculas na linha não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% probabilidade; ²Analisada pelo teste qui-quadrado (G.L. = 5; p < 0,005) com valores diferenciados pelo teste de Tukey a 5% probabilidade; ³Médias ± EP com diferenças não-significativas.

O tipo e a fase de desenvolvimento da presa fornecida à *E. annulipes*, como o pulgão da erva-doce, *Hyadaphis foeniculi* (Passerini) (Hemiptera: Aphididae) (Silva *et al* 2010), influenciam na duração da fase ninfal da tesourinha. A fase, estágio e idade de desenvolvimento de *P. xylostella* foram determinantes para o menor período de desenvolvimento da tesourinha, que obteve uma fase ninfal mais curta quando consumiu lagartas de quarto ínstar. Isso pode ser relativo a cada predador, visto que *P. nigrispinus*

obteve períodos mais curtos do terceiro ínstar, quarto ínstar e da fase ninfal ao se alimentarem de pupas em comparação a lagartas (Vacari *et al* 2013).

A razão sexual observada para a tesourinha alimentada com lagartas de primeiro + segundo ínstares, terceiro ínstar e com pupas de dois dias se aproxima da observada para outros predadores de lagartas e pupas de *P. xylostella* (Almeida *et al* 2009, Vacari *et al* 2013). Um dos fatores que envolvem a razão sexual e o aumento ou a diminuição da longevidade dos adultos de *E. annulipes* é a temperatura (Lemos *et al* 2003). Nesta pesquisa não se utilizou a temperatura como fonte de variação, contudo, o conhecimento das relações entre predador, presa e temperatura pode ser alvo fundamental em futuras pesquisas.

Houve diferença estatística para o peso de *E. annulipes* entre os tratamentos ($F = 130,8$; $p < 0,001$), a fase de desenvolvimento do predador ($F = 1209,4$; $p < 0,001$) e interação entre ambos ($F = 130,8$; $p < 0,001$). Ninfas de primeiro, segundo e terceiro ínstares do predador apresentaram peso similar em qualquer tratamento, as ninfas de quarto ínstar apresentaram maior peso quando foram alimentadas com lagartas de quarto ínstar e pupas da presa em qualquer idade e as ninfas de quinto ínstar apresentaram maior peso quando consumiram pupas de *P. xylostella* (Fig 1A). Ninfas de primeiro e segundo ínstares apresentaram menor peso em relação aos demais ínstares do predador ($F = 26,1$; $p < 0,001$) (Fig 1A). O maior peso das fêmeas de *E. annulipes* foi observado quando pupas em qualquer idade foram fornecidas como alimento e o menor peso foi verificado quando lagartas de primeiro + segundo ínstares de *P. xylostella* foram consumidas. Em relação aos machos, o maior peso foi registrado nos tratamentos com lagartas de quarto ínstar e pupas com dois ou três dias. Fêmeas apresentaram maior valor médio de peso em relação aos machos tendo qualquer uma das fontes de alimentação fornecidas (Fig 1B).

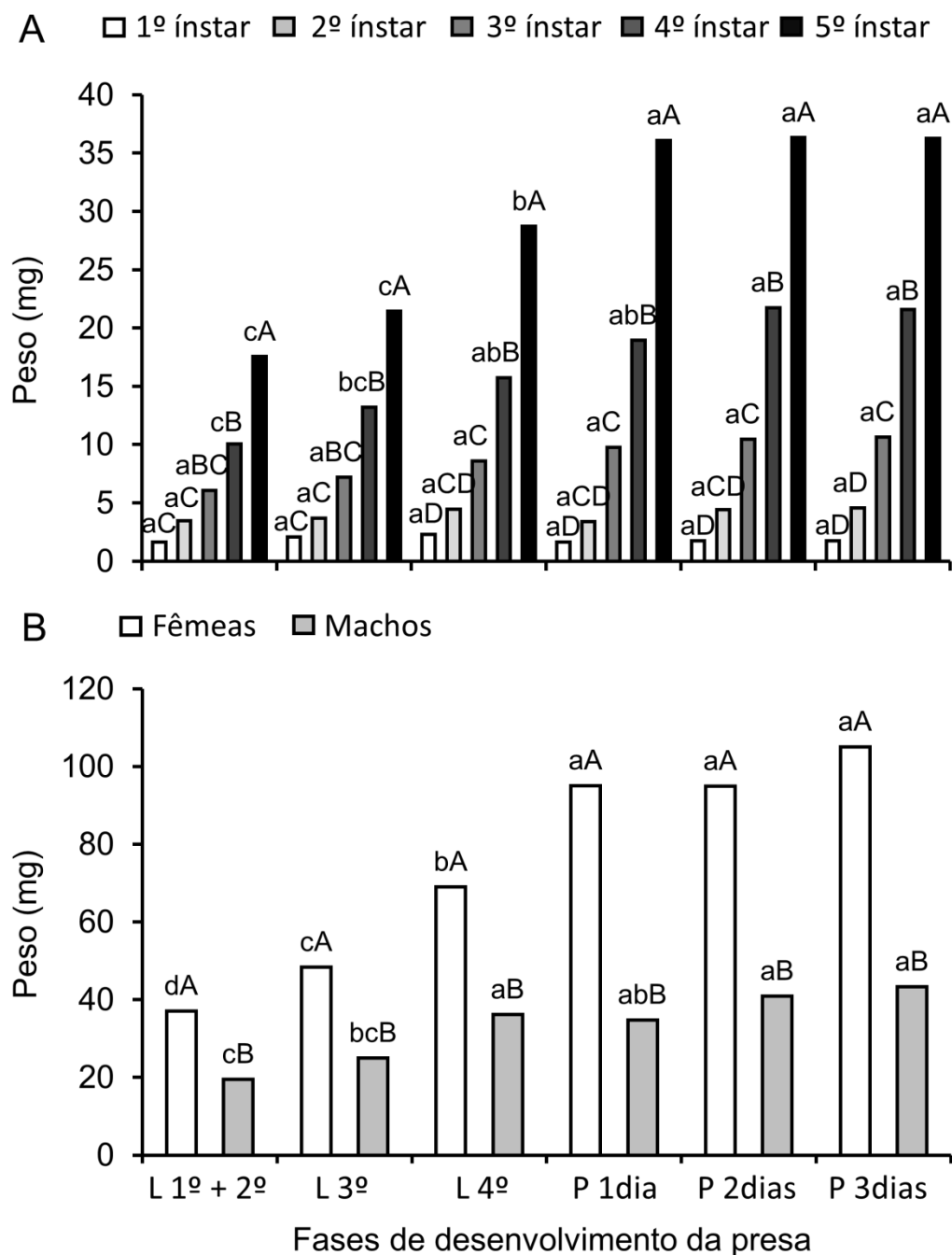


Figura 1 Peso de ninfas (A) e adultos (B) de *Euborellia annulipes* alimentados com lagartas (L) em diferentes ínstaes e pupas (P) em diferentes idades (dias de desenvolvimento) de *Plutella xylostella*. Médias ($\pm$ EP) seguidas de mesma letra minúscula não se diferem entre as fases de desenvolvimento da presa e de letras maiúsculas entre as fases do predador pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A tesourinha *E. annulipes* apresenta um hábito predatório onívoro (Kocarek *et al* 2015), dessa forma, deve-se salientar que o peso do predador pode ser diferenciado no campo visto que os recursos alimentares podem não se restringir a uma única fonte alimentar ou apenas uma fase de desenvolvimento da presa. Pupas e lagartas de *P. xylostella* podem ser consumidos concomitantemente pelo predador, assim a combinação de alimentos pode influenciar no maior ganho de peso, como evidenciado por Almeida *et al* (2009) para *Ceraeochrysa claveri* (Navás) (Neuroptera: Chrysopidae) consumindo lagartas + ovos da traça-das-crucíferas. A presença de presas alternativas nutricionalmente adequadas na composição da alimentação dos insetos entomófagos, principalmente quando generalistas, podem favorecer o ganho de peso e a reprodução (Bahar *et al* 2013).

Foram observadas diferenças estatísticas entre as variáveis relacionadas à pré-oviposição ($F = 19,9$; $p < 0,001$), ao número de oviposições ($F = 4,59$; $p = 0,0015$), ao número de ovos por fêmea ($F=9,21$; $p < 0,01$), ao período de incubação ($F = 6,84$; $p < 0,001$) e a viabilidade percentual de ovos ($F = 955,6$; $p < 0,01$). O período de pré-oviposição de *E. annulipes* foi mais curto quando o predador foi exposto a alimentação com lagartas de quarto ínstar e pupas, 15 a 18 dias (Tabela 3).

As fêmeas realizaram o maior número de oviposições quando se alimentaram com pupas de um ou dois dias de idade, e o maior número de ovos por fêmea foi observado no tratamento com pupas de *P. xylostella* com um dia. O período de incubação da tesourinha verificado no tratamento com lagartas de terceiro ínstar de *P. xylostella* foi mais curto, no entanto em todos os tratamentos contendo lagartas não ocorreu eclosão (Tabela 3).

Tabela 3 Fecundidade e fertilidade de *Euborellia annulipes* alimentada com lagartas (L) e pupas (P) de *Plutella xylostella*.

Tratamentos	Pré-oviposição (dias)	Nº de oviposições	Nº de ovos/fêmea	Incubação (dias)	Viabilidade embrionária (%)
L 1º+2º ínstar	24,4 ± 0,09 a	3,5 ± 0,15 b	32,8 ± 0,47 cd	8,6 ± 0,16 b	0,0 ± 0,00 b
L 3º ínstar	27,0 ± 0,33 a	2,9 ± 0,10 b	31,0 ± 0,27 d	6,1 ± 0,23 c	0,0 ± 0,00 b
L 4º ínstar	18,1 ± 0,11 b	3,3 ± 0,06 b	55,8 ± 0,30 bcd	9,6 ± 0,11 b	0,0 ± 0,00 b
P 1 dia	15,0 ± 0,18 b	5,3 ± 0,13 a	93,0 ± 0,56 a	12,4 ± 0,17 a	74,1 ± 0,45 a
P 2 dias	15,7 ± 0,09 b	4,3 ± 0,13 ab	63,9 ± 0,64 bc	10,3 ± 0,08 b	79,3 ± 0,37 a
P 3 dias	16,4 ± 0,14 b	3,6 ± 0,11 b	72,1 ± 0,48 ab	9,3 ± 0,12 b	81,1 ± 0,29 a
CV(%)	17,2	30,6	38,1	23,7	9,23

Médias (± EP) seguidas de mesma letra minúscula na coluna não se diferem estatisticamente pelo Tukey a 5% de probabilidade.

Fêmeas de *P. nigrispinus* apresentam um menor período de pré-oviposição e um melhor desempenho reprodutivo quando consomem pupas em relação a lagartas (Vacari *et al* 2013). Rankin *et al* (1995) descreveram as características relacionadas a oviposição de *E. annulipes*, relatando que as fêmeas ovipositam em média 45 ovos após 18 dias e realizam em torno de nove posturas durante 180 dias, após emergência e acasalamento. A temperatura poderia ter sido um fator a ser considerado nos aspectos referentes à oviposição e eclodibilidade de *E. annulipes*, no entanto, a faixa de temperatura utilizada nos bioensaios se encontra de acordo com a avaliada por Lemos *et al* (2003), que verificaram um período de pré-oviposição dessa tesourinha alimentada com dieta artificial de aproximadamente 22 dias em temperatura de 25 °C.

A alimentação com pupas de insetos parece satisfazer as exigências nutricionais de alguns dermápteros e a sua combinação com recursos alimentares de origem vegetal pode ser crucial para o desenvolvimento da fase ninfal, como verificado por Pasini *et al* (2007)

alimentando *D. luteipes* com farinha de pupas de insetos associadas com recursos vegetais. Kocarek *et al* (2015) também afirmaram que há possibilidade de fitofagia por tesourinhas dessa espécie. *E. annulipes* é citada como predador de pupas do bicudo-do-algodoeiro *Anthonomus grandis* Boheman (Coleoptera: Curculionidae) (Lemos *et al* 1999) e Urbaneja *et al* (2006) evidenciaram a associação desse inseto com a predação de pupas de moscas-das-frutas *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae).

Nas condições desta pesquisa, a alimentação com lagartas de *P. xylostella* não favoreceu a produção de ovos viáveis de *E. annulipes*. O período de incubação foi contabilizado a partir da verificação da coloração dos ovos, onde se pode observar a formação do embrião. Os ovos de *E. annulipes* têm coloração do córion branco-leitosa, às vezes levemente amarelada, e vai ficando transparente durante o seu desenvolvimento. As fêmeas consumiram os ovos quando os mesmos se tornaram amarelados e sem transparência, características que indicavam a inviabilidade dos ovos. Esse comportamento foi observado para fêmeas de *E. annulipes* tendo como alimento pulgões da erva-doce (Silva *et al* 2010). Longos períodos de incubação são comuns à dermápteros (Meunier *et al* 2012), então, a ocorrência de períodos embrionários curtos, como observado nesta pesquisa, pode ter decorrido da não viabilidade embrionária o que forçou a mãe a eliminar os ovos.

O canibalismo de ovos é comum em dermápteros e pode ocorrer por outros motivos não relacionados à qualidade nutricional do alimento consumido pelas fases ninfais e pela mãe, mas a higienização do local onde os ovos estão agrupados (Miller & Zink 2012). A assepsia e organização dos ovos no substrato é um hábito observado em tesourinhas visando, por exemplo, a proteção antifúngica (Butnariu *et al* 2013, Boos *et al* 2014). Os cuidados maternos das fêmeas de tesourinhas como *E. annulipes* também influenciam no número de oviposições, visto que estas destinam parte do tempo para atenção aos ovos desde a oviposição até eclosão (Rankin *et al* 1996, Dobler & Kölliker 2010).

Não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,001$) para a probabilidade de sobrevivência da tesourinha (Fig 2). Lagartas ou pupas de *P. xylostella*, apesar de influenciarem na duração dos estádios e fase ninfais não influenciaram na longevidade e sobrevivência dos adultos de *E. annulipes* durante o seu desenvolvimento, assim como ocorreu para as fêmeas do predador *P. nigrispinus* (Vacari *et al* 2013).

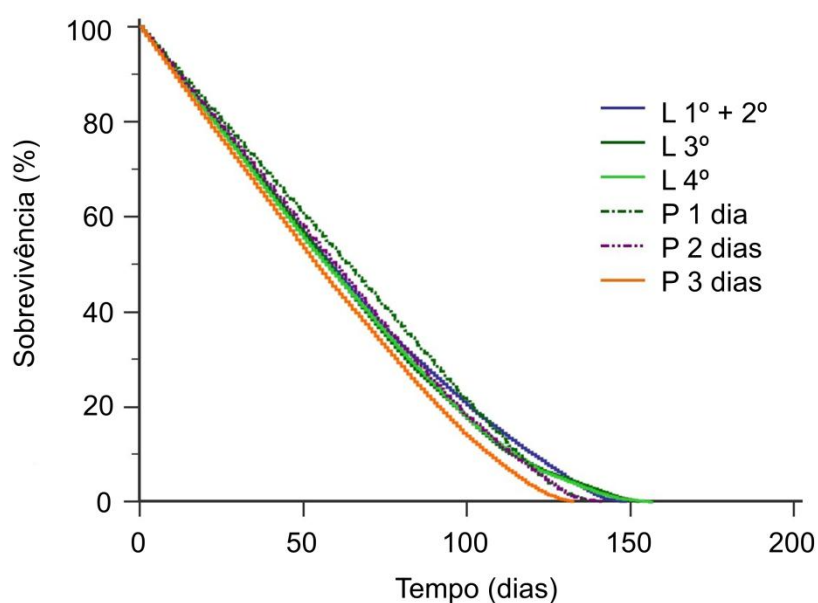


Figura 2 Probabilidade de sobrevivência de adultos de *Euborellia annulipes* alimentados com lagartas (L) em diferentes ínstares e pupas (P) de *Plutella xylostella* com diferentes dias de idade. Log-Rank test; $\chi^2 = 60,3$; $p > 0,005$.

Conclusões

Ninfas de *E. annulipes* apresentam alta sobrevivência consumindo lagartas em quarto ínstar e pupas de *P. xylostella* com três dias de idade. A menor duração da fase ninfal ocorre quando a tesourinha se alimenta com lagartas em quarto ínstar, a longevidade dos adultos e o percentual de sobrevivência independem da fase de desenvolvimento da presa. A tesourinha

apresenta maior peso quando se alimenta de pupas, as quais são presas mais adequadas à fecundidade e a fertilidade do predador.

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. *Ciênc Rural* 37:1524-1528
- Almeida MF, Barros R, Gondim Júnior MGC, Freitas S, Bezerra AL (2009) Biologia de *Ceraeochrysa claveri* Navás (Neuroptera: Chrysopidae) predando *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). *Ciênc Rural* 39: 313-318
- Araújo LF, Silva AG, Cruz I, Carmo EL, Horvath Neto A, Goulart MMP, Rattes JF (2011) Flutuação populacional de *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith), *Diatraea saccharalis* (Fabricius) e *Doru luteipes* (Scudder) em milho convencional e transgênico Bt. *Rev Bras Milho Sorgo* 10: 205-214
- Bahar HM, Stanley J, Gregg P, Socorro AD (2013) Predation of cotton bollworm by green lacewings in the presence of cotton aphid as alternative prey on transgenic Bt and conventional cotton. *Entomol Exp Appl* 146: 224–231
- Boiça Júnior A, Tagliari SRA, Pitta RM, Jesus FG, Braz LT (2011) Influência de genótipos de couve (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* DC.) na biologia de *Plutella xylostella* (L., 1758) (Lepidoptera: Plutellidae). *Ciênc Agrotec* 35: 710-717
- Boos S, Meunier J, Pichon S, Kölliker M (2014) Maternal care provides antifungal protection to eggs in the european earwig. *Behav Ecol* 25: 754-761
- Brito JP, Vacari AM, Thuler RT, De Bortoli AS (2009) Aspectos biológicos de *Orius insidiosus* (Say, 1832) predando ovos de *Plutella xylostella* (L., 1758) e *Anagasta kuehniella* (Zeller, 1879). *Arq Inst Biol* 76: 627-633

- Butnariu AR, Pasini A, Reis FS, Bessa E (2013) Maternal care by the earwig *Doru lineare* Eschs. (Dermaptera: Forficulidae). J Insect Behav 26: 667-678
- Carvalho C, Kist BB, Poll H (2013) Anuário Brasileiro de Hortaliças. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, p 88
- Cheng L, Yu G, Chen Z, Li Z (2008) Insensitive acetylcholine receptor conferring resistance of *Plutella xylostella* to nereistoxin insecticides. Agric Sci China 7: 847-852
- Cody R (2015) An introduction to SAS University.. SAS Institute, Cary, NC, USA. 366 p
- De Bortoli AS, Vacari AM, Goulart RM, Santos RF, Volpe HXL, Ferraudo AS (2011) Capacidade reprodutiva e preferência da traça-das-crucíferas para diferentes brassicáceas. Hort Bras 29: 187-192
- Dobler R, Kölliker M (2010) Kin-selected siblicide and cannibalism in the European earwig. Behav Ecol 21: 257-263
- Frizzas MR, Silveira Neto S, Oliveira CMD, Omoto C (2014) Genetically modified corn on fall armyworm and earwig populations under field conditions. Ciênc Rural 44: 203-209
- Furlong MJ, Wright DJ, Dosdall LM (2013) Diamondback moth ecology and management: problems, progress and prospects. Annu Rev Entomol 58: 517–541
- Gonçalves EM, Alegria C, Abreu M (2013) Benefits of brassica nutraceutical compounds on human health. In: Brassicaceae: Characterization, functional genomics and health benefits; Lang M (ed), Nova Science Publishers: Hauppauge, NY, USA, pp. 20–65
- Gong L, Chen Y, Hu Z, Hu M (2013) Testing insecticidal activity of novel chemically synthesized siRNA against *Plutella xylostella* under laboratory and field conditions. PloS One 8: 1-8
- Kocarek P, Dvorak L, Kirstova M (2015) *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae), a new alien earwig in Central European greenhouses: potential pest or beneficial inhabitant?. Appl Entomol Zool 50: 201-206

- Lemos WP, Medeiros RS, Ramalho FS (1999) Exigências térmicas de *Euborellia annulipes* (Lucas) (Dermaptera, Anisolabididae) e sua relação com a presa: bicudo-do-algodoeiro. Rev Bras Entomol 43: 61-68
- Lemos WP, Ramalho FS, Zanuncio JC (2003) Age-dependent fecundity and life-fertility tables for *Euborellia annulipes* (Lucas) (Dermaptera: Anisolabididae) a cotton boll weevil predator in laboratory studies with an artificial diet. Environ Entomol 32: 592-601
- Meunier J, Wong JWY, Gómez Y, Kuttler S, Röllin L, Stucki D, Kölliker M (2012) One clutch or two clutches? Fitness correlates of coexisting alternative female life-histories in the European earwig. Evol Ecol 26: 669-682
- Miller JS, Zink AG (2012) Parental care trade-offs and the role of filial cannibalism in the maritime earwig, *Anisolabis maritime*. Anim Behav 83: 1387–1394
- Montezano EM, Peil RMN (2006) Sistemas de consórcio na produção de hortaliças. Rev Bras Agrociênc 12: 129-132
- Nguyen TD, Yu JE, Lee DM, Lee GH (2008) A multiresidue method for the determination of 107 pesticides in cabbage and radish using QuEChERS sample preparation method and gas chromatography mass spectrometry. Food Chem 110: 207-213
- Pasini A, Parra JRP, Lopes JM (2007) Dieta artificial para criação de *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae), predador da lagarta-do-cartucho do milho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). Neotrop Entomol 36: 308-311
- Passos FR, Reis MR (2013) Resíduos de agrotóxicos em alimentos de origem vegetal: revisão. Pesticidas: R Ecotox Meio Ambiente 23: 49-58
- Rankin SM, Palmer JO, Larocque L, Risser AL (1995) Life history characteristics of ringlegged earwig (Dermaptera: Labiduridae): Emphasis on ovarian development. Ann Entomol Soc Am 88: 887-893

- Rankin SM, Storm SK, Pioto DL, Risser AL (1996) Maternal behavior and clutch manipulation in the ring-legged earwig (Dermaptera: Carcinophoridae). *J Insect Behav* 9: 85-103
- Rondelli VM, Pratisoli D, Santos Jr HJG, Zago HB, Machado LC, Rodrigues HS, Valbon WR (2013) Insecticide activity of *Beauveria bassiana* and castor bean oil against *Plutella xylostella* under greenhouse. *Biosci J* 29: 1187-1193
- Saeed R, Sayyed AH, Shad SA, Zaka SM (2010) Effect of different host plants on the fitness of diamond-back moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Crop Protec* 29: 178-182
- Silva AB, Batista JL, Brito CH (2009a) Capacidade predatória de *Euborellia annulipes* (Lucas, 1847) sobre *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797). *Acta Sci Agron* 31: 7-11
- Silva AB, Batista JL, Brito CH (2009b) Aspectos biológicos de *Euborellia annulipes* sobre ovos de *Spodoptera frugiperda*. *Eng Amb* 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). *Rev Caatinga* 23: 21-27
- Urbaneja A, Mari 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, Goulart RM, Volpe HX, Otuka AK, Veiga AC (2013) Comparison of eggs, larvae, and pupae of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) as prey for *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae). *Ann Entomol Soc Am* 106: 235-242
- Vacari AM, De Bortoli SA, Torres JB (2012) Relationships between predation by *Podisus nigrispinus* and developmental phase and density of its prey, *Plutella xylostella*. *Entomol Exp Appl* 145: 30-37

Zago HB, Barros R, Torres J, Pratissoli D (2010) Distribuição de ovos de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) e o parasitismo por *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Neotrop Entomol 39: 241-247

Zalucki MP, Shabbir A, Silva R, Adamson D, Shu-Sheng L, Furlong MJ (2012) Estimating the economic cost of one of the world's major insect pests, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): just how long is a piece of string? J Econ Entomol 105: 1115-1129

ARTIGO II

Predação de lagartas e pupas da traça-das-crucíferas por *Euborellia annulipes*

Predação de lagartas e pupas da traça-das-crucíferas por *Euborellia annulipes*

Resumo

A traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella*, é considerada o principal inseto-praga das brássicas no mundo e inimigos naturais como *Euborellia annulipes* podem exibir ação potencial no controle biológico dessa praga. O objetivo deste trabalho foi avaliar a predação e quantificar o consumo de lagartas de quarto ínstar e pupas de *P. xylostella* por ninfas e fêmeas adultas da tesourinha *E. annulipes* em função da idade do predador. O experimento foi conduzido em condições de laboratório avaliando o consumo de *P. xylostella* por ninfas e fêmeas da tesourinha em cinco intervalos de desenvolvimento (2, 4, 6, 8 e 10 dias de idade). Ninfas a partir do terceiro ínstar e fêmeas da tesourinha consomem maior quantidade de lagartas que pupas por dia. As lagartas de *P. xylostella* estimulam a predação em decorrência das movimentações de defesa e fuga, diferentemente das pupas. Na medida em que ninfas de quinto ínstar do predador se desenvolvem, o consumo de pupas da traça-das-crucíferas é constante, enquanto que o consumo de lagartas decresce quando o predador se aproxima da mudança de ínstar. As fêmeas, independente da idade, consomem mais lagartas que pupas de *P. xylostella*.

Palavras-Chave: brássicas, Dermaptera, manejo integrado, *Plutella xylostella* L.

Predation of diamondback moth larvae and pupae by *Euborellia annulipes*

Abstract

Diamondback moth, *Plutella xylostella*, is considered main insect-pest of brassica worldwide and natural enemies as *Euborellia annulipes* can exhibit potential in the

biological control of this pest. In this sense, the objective of this work was to evaluate the predation and to quantify the consumption of *P. xylostella* larvae at fourth instar and pupae by nymphs and adult females of the ring-legged *E. annulipes* as function of predator age. The experiment was conducted under laboratory conditions, evaluating predation by nymphs and females of the ring-legged earwig in five developmental time intervals (2, 4, 6, 8 and 10 days-old). Nymphs from the third instar and females fed more larvae than pupae per day. *P. xylostella* larvae stimulate the predation in due to defense and escape movements, unlike pupae. As nymphs of the fifth instar of the predator development, the consumption of diamondback moth pupae increases linearly, in the other hand the consumption of larvae decreases when the predator is closer to change of instar. Females, regardless of age, consume more larvae than pupae of *P. xylostella*.

Key words: brassica, Dermaptera, integrated pest management, *Plutella xylostella* L.

INTRODUÇÃO

A produção de brássicas ou crucíferas (Brassicaceae) atinge fundamental importância em todo o mundo, em virtude das propriedades nutracêuticas e industriais das plantas como a couve (*Brassica oleracea* var. *acephala*), o repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*), a rúcula (*Eruca sativa*), o brócolis (*Brassica oleracea* var. *italica*) e a couve-flor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*), usadas na alimentação humana (Carvalho et al., 2013; Gonçalves et al., 2013) e da canola (*Brassica napus*), oleaginosa utilizada como matéria prima na indústria do biodiesel (Schmidt & Bancroft, 2010).

A traça-das-crucíferas *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) é considerada o principal entrave às produções de brássicas no mundo inteiro, devido aos danos causados às plantas, a alta capacidade de reprodução e a aquisição de resistência a produtos químicos, reduzindo de forma drástica a produtividade das culturas e aumentando significativamente os custos com o controle (De Bortoli et al., 2011; Zalucki et al., 2012). O método de controle biológico é reportado como uma alternativa emergente e eficiente na redução das infestações de insetos-praga. Além do mais, atua na produção integrada e agricultura sustentável, auxiliando na redução do uso de inseticidas com produtos de efeito tóxico a organismos não alvos, como os inimigos naturais, aos animais domésticos, ao

homem e ao meio ambiente. O uso de insetos predadores é alvo de crescente pesquisa (Almeida et al., 2009; Brito et al., 2009; Vacari et al. 2012).

A tesourinha *Euborellia annulipes* (Lucas) (Dermaptera: Anisolabididae), vem sendo relatada como predador de larvas e pupas de *Anthonomus grandis* Boheman (Coleoptera: Curculionidae) (Lemos et al., 1998), do pulgão da erva-doce *Hyadaphis foeniculi* (Passerini) (Hemitera: Sternorrhynca: Aphididae) (Silva et al., 2010), de ovos e lagartas de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) (Silva et al., 2009a). O hábito terrestre (Urbaneja et al., 2006) e a habilidade de sobrevivência em locais úmidos, comum a dermápteros (Butnariu et al., 2013), são fatores que favorecem a possibilidade de atuação desses insetos em ambientes com produção de brássicas, onde a conformação e a umidade presente nas plantas, bem como o manejo adotado podem favorecer o refúgio e o alcance dos predadores às presas. Ramos (2015) evidenciou a ocorrência de *Euborellia* sp. em plantio de couve consorciado com feijão-guadu, *Cajanus cajan* (Fabaceae).

O conhecimento do potencial de predação da tesourinha *E. annulipes* sobre a traça-das-crucíferas tem relevância para a adoção de estratégias de manejo integrado de *P. xylostella*. A idade do predador é uma característica ou fator que pode fornecer informações sobre a dinâmica e comportamento predatório na medida em que este se desenvolve, além disso, a fase de desenvolvimento da presa pode contribuir para o menor ou maior consumo pelo predador. Com isso, o objetivo desse trabalho foi avaliar a predação e quantificar o consumo de lagartas e pupas de *P. xylostella* por ninfas e fêmeas de *E. annulipes* em função da idade do predador.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e condições do experimento

O experimento foi conduzido no Laboratório de Entomologia, Campus II, da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Areia-PB, em condições de temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, umidade relativa do ar de $70 \pm 10 \%$ e fotofase de 12 h. Para a pesquisa foram utilizadas ninfas e fêmeas de *E. annulipes* como predadores e lagartas de quarto ínstar e pupas de *P. xylostella* como presas, ambas obtidas de criação no laboratório.

Criação do predador

As tesourinhas *E. annulipes* foram criadas em laboratório com alimentação baseada no uso de dieta artificial [composição para 1000 g de dieta: 130 g de leite em pó (13%), 220 g de lêvedo de cerveja (22%), 260 g de farelo de trigo (26%), 350 g de ração inicial para frango de corte (35%) e 40 g de nipagin (4%)] (Silva et al., 2009b). As ninfas foram separadas 24 h após eclosão em recipientes plásticos transparentes (13 cm de largura x 20

cm de comprimento x 7 cm de altura) contendo papel filtro umedecido com água destilada, para abrigo, e a dieta. Cada recipiente apresentava uma densidade média de 40 ninfas abrigadas no substrato umedecido. Limpezas periódicas nos recipientes e substituição das dietas eram realizadas a cada três dias, ou quando necessário, e a mudança de ínstar era observada diariamente até obtenção dos adultos, cujo sexo foi diferenciado a partir dos fórceps (machos com o fórceps esquerdo curvado, fêmeas com fórceps de mesmo tamanho).

Fêmeas e machos foram agrupados em um total de 32 insetos/recipiente, numa densidade de um macho para cada três fêmeas. Os ovos obtidos foram separados juntamente com a mãe sobre papel filtro umedecido em placas de Petri (8 cm de diâmetro x 11 cm de largura). O cuidado maternal é um comportamento comum aos dermápteros e essencial para a assepsia dos ovos, seleção e viabilidade da fase embrionária (Butnariu et al., 2013; Boos et al., 2014).

Criação da presa

A traça-das-crucíferas foi obtida em uma produção comercial de repolho no município de Areia-PB e levadas para criação em laboratório com temperatura de 26 ± 2 °C, umidade relativa do ar de $70 \pm 10\%$ e fotofase de 12 h. As lagartas foram criadas em recipientes plásticos transparentes (25 cm de largura x 36 cm de comprimento x 12 cm de altura) fechados com tecido *voile* (50 cm de comprimento x 35 cm de largura) e alimentadas com folhas de couve (*B. oleracea* var. *acephala*) cultivar Geórgia. As pupas foram retiradas das folhas com auxílio de um pincel e acondicionadas até emergência em tubos de ensaio com fundo chato (8,5 cm de altura x 2 cm de diâmetro) vedados com algodão hidrófilo. Após emergência, fêmeas e machos foram acondicionados em gaiolas plásticas (6,5 cm de diâmetro x 15 cm de altura) fechadas com tecido *voile* na parte superior e contendo no seu interior folhas de couve para oviposição. As folhas com os ovos foram retiradas e acondicionadas dentro de outro tipo de recipiente (13 cm de largura x 20 cm de comprimento x 7 cm de altura) até eclosão e folhas novas foram adicionadas nas gaiolas a cada dois dias. O alimento dos adultos consistia de uma solução de mel (5%) + água (95%) disposta em algodão hidrófilo na parte superior da gaiola.

Capacidade de predação

A capacidade de predação da tesourinha foi avaliada de acordo com o desenvolvimento das ninfas e fêmeas (2, 4, 6, 8 e 10 dias de idade) e com as fases de desenvolvimento da presa *P. xylostella*, lagartas de quarto ínstar e pupas. Considerou-se o consumo até o dia da ecdise em função da mudança de ínstar do predador. Foram utilizadas 10 ninfas de

primeiro, 10 de segundo, 10 de terceiro, 10 de quarto, 10 de quinto ínstars e 10 fêmeas de *E. annulipes* com até 12 h após a eclosão e mudança de ínstar, respectivamente. Os números de presas consumidas por dia e a cada intervalo de idade do predador, bem como observações do comportamento da predação foram sendo registradas durante o experimento.

Análise dos dados

O delineamento estatístico adotado foi o inteiramente casualizado com parcelas subdivididas no tempo. Os dados do número de presas consumidas por ninfas e fêmeas da tesourinha por dia foram submetidos à análise de variância (Proc GLM; Cody, 2015), utilizando-se um esquema (5+1) x 2 (cinco ínstars + fêmeas adultas do predador x duas fases da presa), e comparados pelos testes Tukey e F ($p \leq 0,05$). Os dados de consumo de presas em função da idade do predador foram submetidos à análise de regressão polinomial. A comparação do consumo de lagartas e pupas pelo predador em cada intervalo independente foi comparada pelo teste F ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS

Predação diária

O consumo diário de *P. xylostella* pelas ninfas e fêmeas de *E. annulipes* variou de acordo com as fases de desenvolvimento do predador ($F = 603,5$; $p < 0,001$) e da presa ($F = 1103,0$; $p < 0,001$), com interação significativa entre as fontes de variação ($F = 603,5$; $p < 0,001$). Lagartas de *P. xylostella* foram consumidas em maior número por ninfas de *E. annulipes* a partir do terceiro ínstar, sendo notadamente as fêmeas que consumiram maior número de presas diariamente (Tabela 1).

Tabela 1. Número médio ($\pm$ EP) de lagartas e pupas de *Plutella xylostella* consumidas/dia por ninfas e fêmeas de *Euborellia annulipes* em laboratório

Fases do predador ¹	Fases da presa ²	
	Lagartas	Pupas
1º ínstar ^{ns}	0,63 $\pm$ 0,06 e	0,34 $\pm$ 0,04 d
2º ínstar ^{ns}	2,48 $\pm$ 0,07 e	1,17 $\pm$ 0,05 cd
3º ínstar ^{**}	7,51 $\pm$ 0,11 d	1,87 $\pm$ 0,07 cd
4º ínstar ^{**}	14,48 $\pm$ 0,21 c	3,18 $\pm$ 0,07 c
5º ínstar ^{**}	25,60 $\pm$ 0,18 b	7,69 $\pm$ 0,14 b
Fêmeas ^{**}	45,04 $\pm$ 0,17 a	11,32 $\pm$ 0,11 a
CV (%)	19,08	

¹Diferenças do consumo entre as fases da presa analisadas pelo teste F (** $p < 0,001$; ^{ns}não significativo). ²Médias de consumo de presas pelas fases do predador seguidas pelas mesmas letras minúsculas não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Não foram observadas diferenças estatísticas do consumo diário de lagartas e pupas da traça-das-crucíferas por ninfas de primeiro e segundo instares. As ninfas a partir do terceiro ínstar e as fêmeas predaram maior número de lagartas em relação a pupas (Tabela 1).

Predação em função da idade do predador

Houve interação significativa entre as fases de desenvolvimento da presa e do predador com os dias de desenvolvimento do predador ($F = 39,7$; $p < 0,001$). Nenhum modelo de regressão se ajustou ao consumo de lagartas e pupas de *P. xylostella* e não houve diferença estatística entre as fases da presa consumidas por ninfas de *E. annulipes* em primeiro ínstar (Figura 1a). O consumo de pupas da presa aumentou de forma linear e o de lagartas foi aumentando na medida em que as ninfas de segundo ínstar do predador se desenvolviam, com resposta quadrática (Figura 1b). O ponto máximo estimado pela derivação da equação foi obtido aos oito dias de desenvolvimento, correspondendo a 17 lagartas consumidas. Ninfas de segundo ínstar não apresentaram diferença de consumo entre as fases da presa e a mudança para o terceiro ínstar ocorreu num período médio de 7,8 dias, dessa forma a curva não foi avaliada até os 10 dias.

As ninfas de *E. annulipes* de terceiro ínstar consumiram a mesma quantidade de lagartas e pupas de *P. xylostella* com dois dias de idade, a partir disso passaram a consumir maior número de lagartas em todos os intervalos de idade. A resposta do consumo de presas ocorreu de forma quadrática dos dois aos 10 dias de idade do predador nesse ínstar (Figura 1c), com ponto máximo estimado de 64,7 lagartas consumidas aos 9,5 dias e 15,7 pupas consumidas aos 8,6 dias. O consumo de lagartas pelas ninfas de quarto ínstar apresentou resposta linear e o de pupas uma resposta quadrática (Figura 1d), onde o ponto máximo estimado foi obtido aos 9,5 dias, correspondendo a 26,6 pupas consumidas. O consumo de pupas foi estatisticamente menor em relação ao de lagartas de *P. xylostella* em qualquer dia de desenvolvimento do predador no quarto ínstar ninfal.

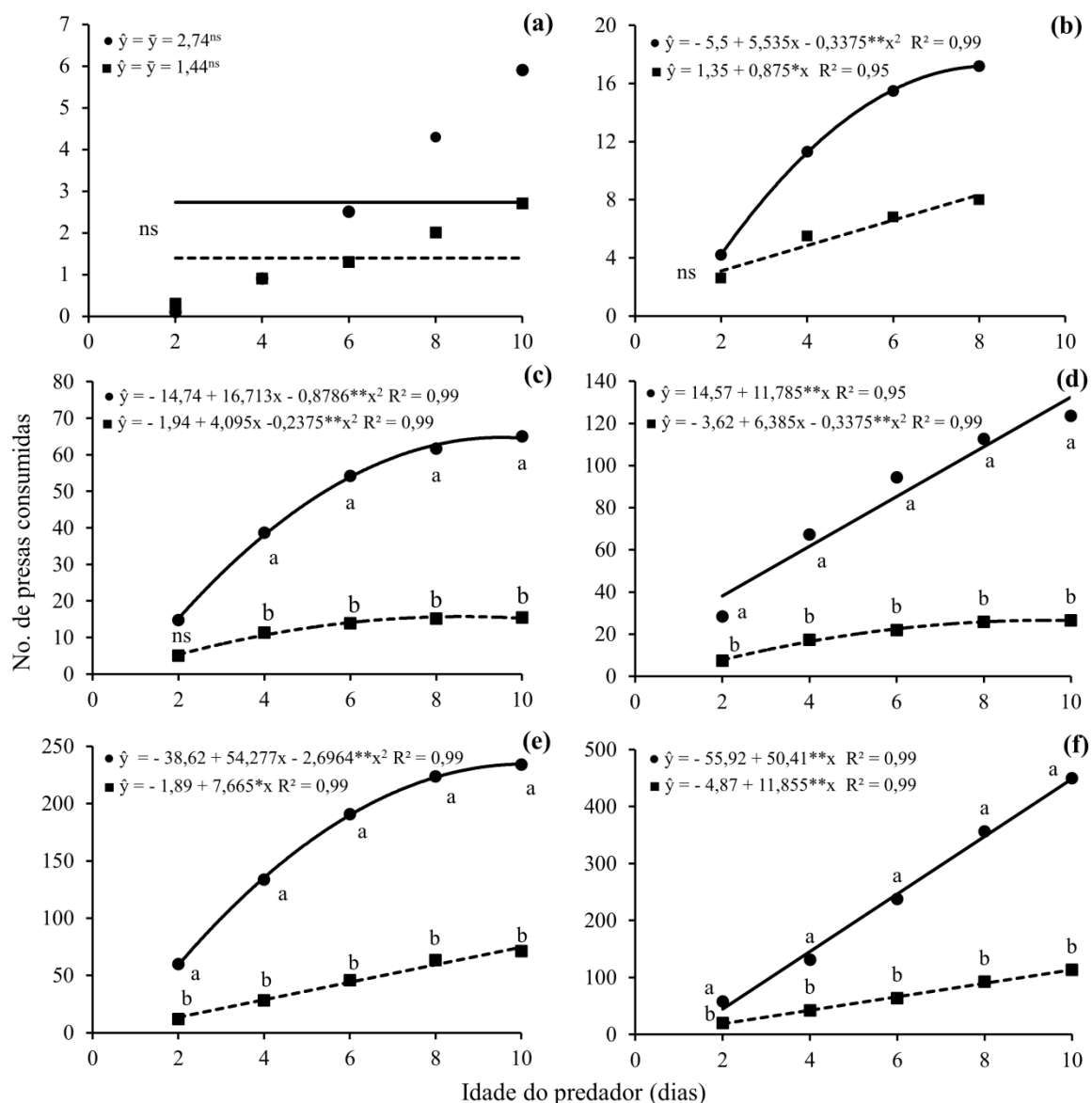


Figura 1. Curvas de regressão ajustadas para o número médio de lagartas (—●—) e pupas (---■---) de *Plutella xylostella* consumidas por ninfas de (a) primeiro, (b) segundo, (c) terceiro, (d) quarto e (e) quinto ínstares e (f) fêmeas adultas de *Euborellia annulipes*, em função da idade do predador. Médias seguidas de mesma letra indicam que o consumo das fases da presa em cada intervalo independente se difere estatisticamente pelo teste F ($p < 0,05$); ^{ns}Diferenças não significativas

Em relação às ninfas de quinto ínstar foi observado que durante os dias de desenvolvimento o consumo de lagartas pelo predador se ajustou ao modelo de regressão quadrática e o de pupas ao modelo linear. O predador consumiu em torno de 234 lagartas aos 10 dias, ponto máximo estimado (Figura 1e). Fêmeas também consumiram mais lagartas que pupas, mas apresentaram comportamento de consumo linear em qualquer fase da presa (Figura 1f). As tesourinhas consumiram 20 pupas e 58 lagartas no início da fase adulta (fêmea), chegando a preda 113 pupas e 449 lagartas de *P. xylostella* em 10 dias.

Comportamento da predação

As ninfas da tesourinha de primeiro ínstar são menores que as lagartas e pupas de *Plutella xylostella*, o que influencia no ataque e consumo. As pupas apresentam um casulo de fios de seda que as envolve e são mais quitinizadas, logo, as ninfas neste estágio necessitavam romper o casulo para consumi-las e em alguns momentos, se abrigavam dentro das pupas antes ainda não consumidas (Figura 2a). As lagartas já estimulavam a agressividade das ninfas de primeiro ínstar devido a sua movimentação e, mesmo se esquivando da presa a ninfa voltava a atacá-la (Figura 2b).

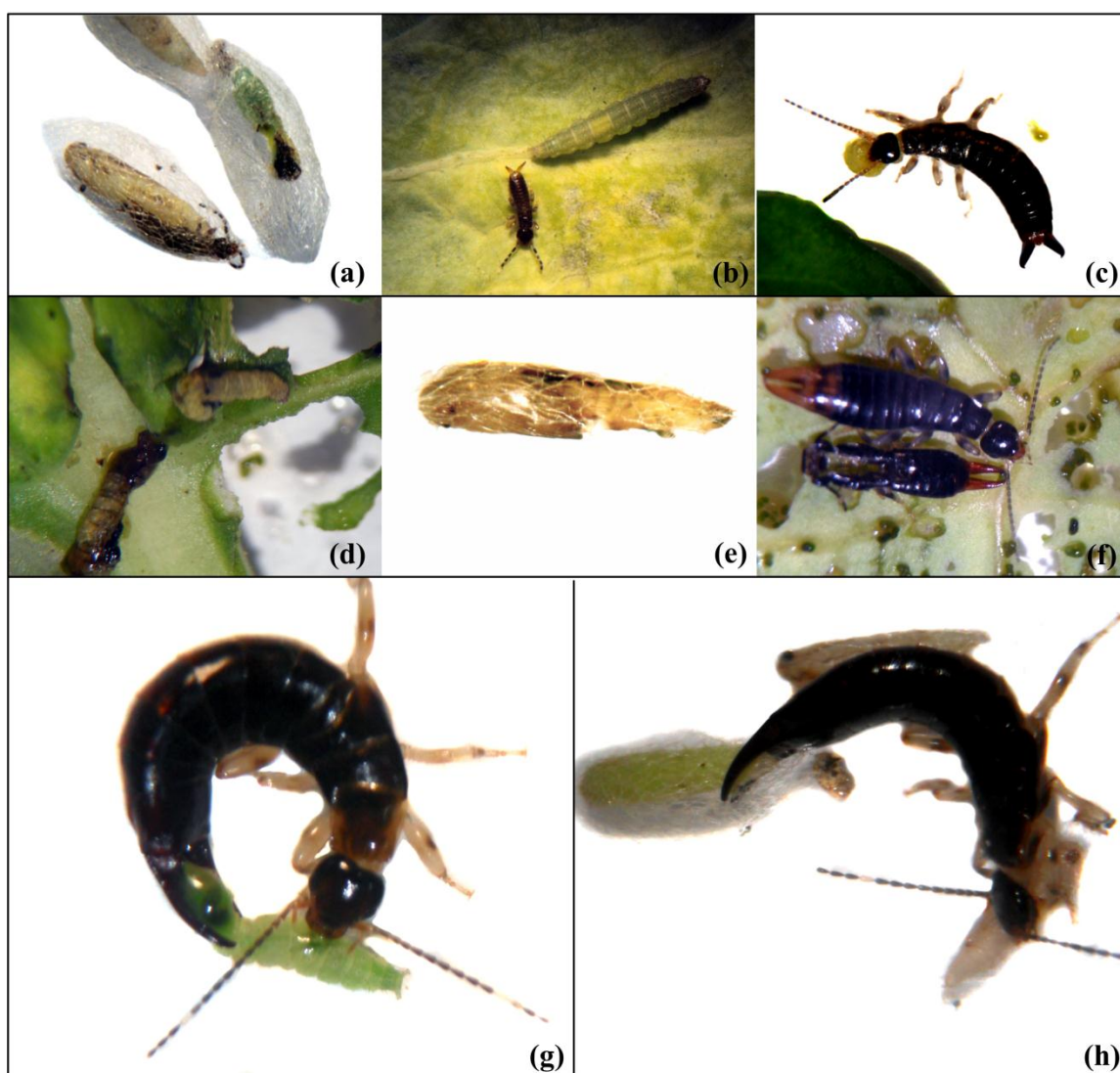


Figura 2. Comportamento da predação de pupas e lagartas de *Plutella xylostella* por ninfas de *Euborellia annulipes* de primeiro (a, b) e quinto ínstares (c), presas consumidas por ninfas de terceiro ínstar (d, e), exúvia e pós-ecdise ninfa-adulto (f) e comportamento do ataque de fêmeas adultas sobre lagartas (g) e pupas (h) em condições de laboratório.

Ninfas de *E. annulipes* a partir do quarto ínstar são predadoras mais vorazes e apresentam tamanho superior às lagartas de *P. xylostella*, consumindo completamente a presa (Figura 2c). Durante o ataque, as ninfas do predador, principalmente as mais jovens, apenas matavam a presa ou consumiam parcialmente o seu conteúdo liquefeito, descartando parte do tegumento (Figura 2d; 2e). As ninfas cessavam sua predação para mudança de ínstar, observada pela presença da exúvia liberada (Figura 2f). As fêmeas prendiam as lagartas com os cercos ou fórceps, devido à movimentação evasiva da presa (Figura 2g) e as consumiam completamente ou apenas matavam, principalmente se outra lagarta fosse detectada. O uso dos fórceps pelo predador também foi evidenciado nas pupas quando a presa movimentava o abdômen (Figura 2h), no entanto esse comportamento ocorreu de forma praticamente inexpressiva durante as observações realizadas.

DISCUSSÃO

A maior predação de *E. annulipes* foi observada em lagartas de *P. xylostella*, quando comparada as pupas da praga, aumentando de acordo com o desenvolvimento de cada fase do predador (Tabela 1). A partir do terceiro ínstar, as ninfas foram mais ágeis, consumiram mais presas e, quando expostas ao alimento na fase adulta, fêmeas da tesourinha aumentaram o número de presas consumidas, lagartas ou pupas. Outros autores verificaram que a predação de *E. annulipes* em lagartas de primeiro e de segundo ínstares de *S. frugiperda* é maior em virtude do ínstar ninfal e aumenta na medida em que o predador se desenvolve (Silva et al., 2009a), sendo o consumo das lagartas de *P. xylostella* superior aos observados por estes autores para ninfas a partir do terceiro ínstar. A fase de *P. xylostella* (ovo a pupa) definiu o aumento do número de indivíduos predados por *Nabis kinbergii* Reuter (Hemiptera: Nabidae) de acordo com a fase do predador, ninfal a adulto (Ma et al., 2005). O consumo de lagartas por ninfas de predadores pode variar em função do estágio ninfal (Vacari et al., 2013; De Jesus et al., 2014), o que também ocorreu para a tesourinha nesta pesquisa.

A fase do predador, o tamanho da presa, a mobilidade e as características do seu tegumento podem ser os responsáveis pelo maior e/ou menor consumo de *E. annulipes*, além disso, os insetos podem consumir um alimento menos nutritivo em maior quantidade como tentativa de suprir a sua baixa qualidade nutricional (Parra et al., 2009). Ninfas de *N. kinbergii* só consomem lagartas de quarto ínstar e pupas da traça-das-crucíferas, respectivamente, a partir do terceiro e quinto ínstar (Ma et al., 2005) e ninfas de ínstares recentes de *P. nigrispinus* não foram utilizadas para experimentação (Vacari et al., 2012),

ou seja, provavelmente não foram capazes de predação de lagartas ou pupas de *P. xylostella* como as ninfas da tesourinha. Dessa forma, a ação predatória de *E. annulipes* sobre a traça-das-crucíferas já pode ser evidenciada nos primeiros dias de vida das ninfas.

A menor predação de pupas da traça-das-crucíferas pela tesourinha avaliada nesta pesquisa pode ter relação com a proteção da presa ou o seu aspecto nutricional, capaz de satisfazer o predador sem que ele necessite se alimentar com outros indivíduos. Foi relatado por Eubanks & Denno (2000) que a movimentação da presa atrai o predador *Geocoris punctipes* (Say) (Hemiptera: Pentatomidae), influenciando sua preferência de consumo, no entanto esta é nutricionalmente menos adequada. Além disso, a idade da presa pode causar diminuição de consumo por predadores, como verificado por Silva et al. (2009b) alimentando essa mesma espécie de tesourinha com ovos de *S. frugiperda* de diferentes idades. A variação nos tipos de cutícula fornecem diferentes mecanismos de proteção à presa, sendo influenciados pela proporção de quitina, grau de esclerotinização e tipos de proteínas constituintes (Iconomidou et al., 2005).

As pupas da traça-das-crucíferas são quitinosas e estão envoltas por fios de seda formados durante o processo de pupação (Philips et al., 2014), mecanismos de defesa primária que dificultam o acesso e servem como forma de proteção ao ataque de predadores (Sarfraz et al., 2011). Diferentes formas de rompimento da proteção quitinosa das pupas de *P. xylostella* pelo predador podem ocorrer, tais como a idade da presa, flexibilidade do tegumento nas primeiras 24 horas após sua formação, o aparelho bucal, cuja ação sobre a presa pode variar de acordo com o inimigo natural (Morrison et al., 2016) e a fase do predador, onde ninfas mais velhas e insetos adultos podem ter maior tamanho e habilidade para predação.

As ninfas de primeiro ínstar de *E. annulipes*, apesar de serem menores que as pupas de *P. xylostella*, rompiam os fios de seda que as envolvem e, em algumas vezes, usavam como abrigo (Figura 2a), dessa forma, tornava mais fácil o acesso ao alimento. Ninfas mais velhas da tesourinha romperam facilmente as proteções da pupa em função do seu tamanho. Alguns mecanismos de defesa das presas podem ser rompidos por predadores, influenciando no sucesso do desenvolvimento biológico e do número de presas consumidas pelo predador (Otsuki & Yano, 2014; Tapajós et al., 2016).

Algumas lagartas respondem ao ataque de predadores por estímulos naturais, químicos, comportamentais ou fisiológicos, e ainda por indução, com movimentações evasivas ou de defesa (Grosman et al., 2008; Soares et al., 2009; Greeney et al., 2012). Os

movimentos da presa podem estimular o ataque e influenciar na atividade e no sucesso da predação (Zanuncio et al., 2008; Silva et al., 2012; Vacari et al., 2012; Santos et al., 2016), como foi verificado em *E. annulipes*. No campo, outros recursos alimentares podem estar presentes e, em decorrência da característica onívora de *E. annulipes* (Kocarek et al., 2015), pode ocorrer maior seleção de alimento pelo predador.

Foi observada uma tendência de consumo crescente de *P. xylostella* na medida em que fêmeas de *E. annulipes* estão mais desenvolvidas. Naturalmente, a aproximação do período de oviposição pode afetar a diminuição da atividade de predação, visto que o custo energético das fêmeas passa a ser destinado para o cuidado maternal, comportamento natural das fêmeas de *E. annulipes*, a partir do qual destinam grande parte de sua atenção aos ovos e ninfas eclodidas (Köl liker, 2007; Butnariu et al., 2013; Wong et al., 2013). As fêmeas de *P. nigrispinus* têm o consumo de lagartas de *Alabama argillacea* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) diminuído em função da sua idade (Pereira et al., 2008)

Em virtude das poucas informações na literatura sobre a atuação de predadores de *P. xylostella* no Brasil, o conhecimento sobre os aspectos relacionados ao desempenho predatório de *E. annulipes* tendo essa praga como presa são essenciais para o desenvolvimento de pesquisas visando a adoção de estratégias de controle biológico associado ao manejo integrado de *P. xylostella*. Dessa forma, outros estudos objetivando avaliar as interações entre o predador e a presa, assim como com variedades de brássicas e agentes entomopatogênicos, entre outras relações tróficas, devem ser levados em consideração.

CONCLUSÕES

Ninfas de *E. annulipes* consomem mais lagartas que pupas de *P. xylostella* a partir do terceiro ínstar ninfal, com consumo variado em função do seus estádios e idade. Fêmeas de *E. annulipes* consomem mais lagartas do que pupas de *P. xylostella*.

LITERATURA CITADA

Almeida, M. F.; Barros, R.; Gondim Júnior, M. G. C.; Freitas, S. D.; Bezerra, A. L. Biologia de *Ceraeochrysa claveri* Navás (Neuroptera: Chrysopidae) predando *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). Ciência Rural, v.39, n.2, p.313-318, 2009. < <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009000200001> >.

Boos, S.; Meunier, J.; Pichon, S.; Köl liker, M. Maternal care provides antifungal protection to eggs in the european earwig. Behavioral Ecology, v.25, n.4, p.754-761, 2014. < <http://dx.doi.org/10.1093/beheco/aru046> >.

Brito, J. P.; Vacari, A. M.; Thuler, R. T.; De Bortoli, S. A. Aspectos biológicos de *Orius insidiosus* (Say, 1832) predando ovos de *Plutella xylostella* (L., 1758) e *Anagasta kuehniella* (Zeller, 1879). Arquivos do Instituto Biológico, v.76, n.4, p.627-633, 2009.

Butnariu, A. R.; Pasini, A.; Reis, F. S.; Bessa, E. Maternal care by the earwig *Doru lineare* Eschs. (Dermaptera: Forficulidae). Journal of Insect Behavior, v.26, n.5, p.667-678, 2013. < <http://dx.doi.org/10.1007/s10905-013-9377-5> >.

Carvalho, C.; Kist, B. B.; Poll, H. Anuário brasileiro de hortaliças. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2013. 88p.

Cody, R. An introduction to SAS University. Cary, N. C., USA. SAS Institute, 2015

De Bortoli, A. S.; Vacari, A. M.; Goulart, R. M.; Santos, R. F.; Volpe, H. X.; Ferraud, A. S. Capacidade reprodutiva e preferência da traça-das-crucíferas para diferentes brassicáceas. Horticultura Brasileira, v.29, p.187-192, 2011. < <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362011000200009> >.

De Jesus, F. G.; Boiça, A. L.; Alves, G. C.; Zanuncio, J. C. Behavior, development, and predation of *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed transgenic and conventional cotton cultivars. Annals of the Entomological Society of America, v.107, n.3, p.601-606, 2014. < <http://dx.doi.org/10.1603/AN13100> >.

Eubanks, M. D.; Robert F. D. Host plants mediate omnivore–herbivore interactions and influence prey suppression. Ecology, v.81, n.4, p.936-947, 2000. <[http://dx.doi.org/10.1890/0012-9658\(2000\)081\[0936:HPMOHI\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1890/0012-9658(2000)081[0936:HPMOHI]2.0.CO;2) >.

Gonçalves, E. M.; Alegria, C.; Abreu, M. Benefits of brassica nutraceutical compounds on human health. In: Brassicaceae: Characterization, functional genomics and health benefits; Lang, M., Ed.; Nova Science Publishers: Hauppauge, NY, USA, 2013. pp.20–65.

Greeney, H. F.; Dyer, H. G. L.; Smilanich, A. M. Feeding by lepidopteran larvae is dangerous: A review of caterpillars' chemical, physiological, morphological, and behavioral defenses against natural enemies. Invertebrate Survival Journal, v.9, p.7-34, 2012. < <http://www.isj.unimo.it/articoli/ISJ256.pdf> >. 10 Dez. 2017.

Grosman, A. H.; Janssen, A.; De Brito, E. F.; Cordeiro, E. G.; Colares, F.; Fonseca, J. O.; Lima, E. R.; Pallini, A.; Sabelis, M. W. Parasitoid increases survival of its pupae by inducing hosts to fight predators. PLoS One, v.3, n.6, p.1-7, 2008. < <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0002276> >.

Iconomidou, V. A.; Willis, J. H.; Hamodrakas, S. J. Unique features of the structural model of 'hard' cuticles proteins: implications for chitin-protein interactions and cross-linking in cuticle. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, v.35, n.6, p.553–560, 2005. < <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibmb.2005.01.017> >.

Kocarek, P.; Dvorak, L.; Kirstova, M. *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae), a new alien earwig in Central European greenhouses: potential pest or beneficial inhabitant? *Applied Entomology and Zoology*, v.50, n.2, p.201-206, 2015. < <http://dx.doi.org/10.1007/s13355-015-0322-2> >.

Kölliker, M. Benefits and costs of earwig (*Forficula auricularia*) family life. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, v.61, n.9, p.1489-1497, 2007. < <http://dx.doi.org/10.1007/s00265-007-0381-7> >.

Lemos, W. P.; Medeiros, R. S.; Ramalho, F. S. Influência da temperatura no desenvolvimento de *Euborellia annulipes* (Lucas) (Dermaptera: Anisolabididae), predador do bicudo-do-algodoeiro. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, v.27, n.1, p.67-76, 1998. < <http://dx.doi.org/10.1590/S0301-80591998000100009> >.

Ma, J.; Li, Y. Z.; Keller, M.; Ren, S. X. Functional response and predation of *Nabis kinbergii* (Hemiptera: Nabidae) to *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Insect Science*, v.12, n.4, p.281-286, 2005. < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1005-295X.2005.00034.x> >.

Morrison, W. R.; Mathews, C. R.; Leskey, T. C. Frequency, efficiency, and physical characteristics of predation by generalist predators of brown marmorated stink bug (Hemiptera: Pentatomidae) eggs. *Biological Control*, v.97, p.120-130, 2016. < <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.03.008> >.

Otsuki, H.; Yano, S. Functionally different predators break down antipredator defenses of spider mites. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, v.151, n.1, p.27-33, 2014. < <http://dx.doi.org/10.1111/eea.12164> >.

Parra, J. R. P.; Panizzi, A. R.; Haddad, M. L. Índices nutricionais para medir consumo e utilização de alimentos por insetos. In: Panizzi, A. R., Parra, J. R. P. (eds) *Bioecologia e nutrição de insetos: base para o manejo integrado de pragas*. p. 75. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília-DF. 2009. 1164p.

Pereira, A. I. A.; Ramalho, F. S.; Malaquias, J. B.; Bandeira, C. M.; Silva, J. P. S.; Zanoncio, J. C. Density of *Alabama argillacea* larvae affects food extraction by females of

Podisus nigrispinus. Phytoparasitica, v.36, n.1, p.84-94, 2008. < <http://dx.doi.org/10.1007/BF02980751> >.

Philips, C. R.; Fu, Z.; Kuhar, T. P.; Shelton, A. M.; Cordero, R. J. Natural history, ecology, and management of Diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae), with emphasis on the United States. Journal of Integrated Pest Management, v.5, n.3, p.1-11, 2014. < <http://dx.doi.org/10.1603/IPM14012> >.

Ramos, T. O. Couve consorciada com sorgo e feijão-guandu na ocorrência de pulgões e insetos predadores. 2015. 58f. Tese (Doutorado em Agronomia - Entomologia Agrícola). Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2015.

Santos, B. D. B.; Ramalho, F. S.; Malaquias, J. B.; Lira, A.; Pachú, J. K.; Fernandes, F. S.; Zanuncio, J. C. How predation by *Podisus nigrispinus* influenced by developmental stage and density of its prey *Alabama argillacea*. Entomologia Experimentalis et Applicata, v.158, n.2, p.142–151, 2016. < <http://dx.doi.org/10.1111/eea.12396> >.

Sarfraz, R. M.; Dossall, L. M.; Keddie, A. B.; Myers, J. H. Larval survival, host plant preferences and developmental responses of the diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) on wild brassicaceous species. Entomological Science, v.14, n.1, p.20-30, 2011. < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1479-8298.2010.00413.x> >.

Schmidt, R.; Bancroft, I. Genetics and Genomics of the Brassicaceae; Springer: Berlin, Germany, 2010; p. 677.

Silva, A. B.; Batista, J. L.; Brito, C. H. Aspectos biológicos de *Euborellia annulipes* sobre ovos de *Spodoptera frugiperda*. Engenharia Ambiental, v.6, n.3, p. 482-495, 2009a. <<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/include/getdoc.php?id=892&article=342&mode=pdf> >. 15 Dez. 2016.

Silva, A. B.; Batista, J. L.; Brito, C. H. Aspectos biológicos de *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae) alimentada com o pulgão *Hyadaphis foeniculi* (Hemiptera: Aphididae). Revista Caatinga, v.23, n.1, p.21-27, 2010. < <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=237117582004> >. 29 Dez. 2016.

Silva, A. B.; Batista, J. L.; Brito, C. H. Capacidade predatória de *Euborellia annulipes* (Lucas, 1847) sobre *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797). Acta Scientiarum. Agronomy, v.31, n.1, p.7-11, 2009b. < <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v31i1.6602> >.

Silva, R. B. D.; Corrêa, A. S.; Della Lucia, T. M. C.; Pereira, A. I. A.; Cruz, I.; Zanuncio, J. C. Does the aggressiveness of the prey modify the attack behavior of the predator *Supputius cincticeps* (Stal) (Hemiptera, Pentatomidae)? Revista Brasileira de

Entomologia, v.56, n.2, p.244-248, 2012. < <http://dx.doi.org/10.1590/S0085-56262012005000031> >.

Soares, M. A.; Zanuncio, J. C.; Leite, G. L. D.; Wermelinger, E. D.; Serrão, J. E. Does *Thyrintina arnobia* (Lepidoptera: Geometridae) use different defense behaviours against predators? Journal of Plant Diseases and Protection, v.116, n.1, p.30-33, 2009. < <http://dx.doi.org/10.1007/BF03356283> >.

Tapajós, S. J.; Lira, R.; Silva-Torres, C. S.; Torres, J. B.; Coitinho, R. L. Suitability of two exotic mealybug species as prey to indigenous lacewing species. Biological Control, v.96, p.93-100, 2016. < <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.02.005> >.

Urbaneja, A.; Marí, F. G.; Tortosa, D.; Navarro, C.; Vanaclocha, P.; Bargues, L.; Castañera, P. Influence of ground predators on the survival of the Mediterranean fruit fly pupae, *Ceratitis capitata*, in Spanish citrus orchards. BioControl, v.51, n.5, p.611-626, 2006. < <http://dx.doi.org/10.1007/s10526-005-2938-6> >.

Vacari, A. M.; De Bortoli, S. A.; Goulart, R. M.; Volpe, H. X.; Otuka, A. K.; Veiga, A. C. Comparison of eggs, larvae, and pupae of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) as prey for *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae). Annals of the Entomological Society of America, v.106, n.2, p.235-242, 2013. < <http://dx.doi.org/10.1603/AN11190> >.

Vacari, A. M.; De Bortoli, S. A.; Torres, J. B. Relationships between predation by *Podisus nigrispinus* and developmental phase and density of its prey, *Plutella xylostella*. Entomologia Experimentalis et Applicata, v.145, n.1, p.30-37, 2012. < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1570-7458.2012.01310.x> >.

Wong, J. W. Y.; Meunier, J.; Kölliker, M. The evolution of parental care in insects: the roles of ecology, life history and the social environment. Ecological Entomology, v.38, n.2, p.123-137, 2013. < <http://dx.doi.org/10.1111/een.12000> >.

Zalucki, M. P.; Shabbir, A.; Silva, R.; Adamson, D.; Shu-Sheng, L.; Furlong, M. J. Estimating the economic cost of one of the world's major insect pests, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): just how long is a piece of string? Journal of Economic Entomology, v.105, n.4, p.1115-1129, 2012. < <http://dx.doi.org/10.1603/EC12107> >.

Zanuncio, J. C.; Silva, C. A. D. D.; Lima, E. R. D.; Pereira, F. F.; Ramalho, F. D. S.; Serrão, J. E. Predation rate of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae with and without defense by *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). Brazilian Archives of Biology and Technology, v.51, n.1, p.121-125, 2008. < <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132008000100015> >.

ARTIGO III

Preferência e resposta funcional de *Euborellia annulipes* a *Plutella xylostella*

Preferência e resposta funcional de *Euborellia annulipes* a *Plutella xylostella*

Resumo

As interações entre predador e presa podem ser explicadas a partir dos estudos do comportamento de predação e da relação entre as densidades da presa, envolvendo estimativas das taxas de ataque (a) e manipulação (Th). O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência das fases de desenvolvimento e densidades de *Plutella xylostella*, sobre a preferência, o ganho de peso e a resposta funcional de fêmeas de *Euborellia annulipes*. Os parâmetros relativos à resposta funcional (a e Th) do predador foram analisados mediante as fases da presa (lagartas e pupas) observada experimentalmente e comparados pelo método de Marquardt e Bootstrap. Foram utilizados testes com e sem chance de escolha para avaliar a preferência de *E. annulipes* e as densidades de 30, 40, 50, 60 e 70 lagartas; 5, 10, 15, 20 e 25 pupas de *P. xylostella* para visualizar o tipo de resposta funcional. Há maior preferência por lagartas de *P. xylostella* por fêmeas da tesourinha com ou sem escolha. A resposta funcional da tesourinha do predador é do tipo II em cada fase da presa e o Bootstrap é mais eficiente para predição dos seus parâmetros, sendo $a = 0,150 \text{ h}^{-1}$ e $Th = 0,223 \text{ h}$ para lagartas; e $a = 0,219 \text{ h}^{-1}$ e $Th = 1,982$ para pupas. Pupas fornecem maior ganho de peso às fêmeas de *E. annulipes*, o qual aumenta de acordo com o aumento da densidade de presas até 15 pupas.

Palavras-chave: *Euborellia annulipes*, *Plutella xylostella*, frair, interações predador-presa, taxa de ataque

Preference and functional response of *Euborellia annulipes* to *Plutella xylostella*

Abstract

Predator-prey interactions can be explained through predation behavior studies and relationships between prey densities, involving estimates of attack rate (a) and handling time (Th). This work aimed to evaluate the influence of developmental stages and densities of *Plutella xylostella* on the preference, weight gain and functional responses of *Euborellia annulipes* females. The parameters related to the functional responses (a and Th) were analyzed by experimentally observed prey stages (larvae and pupae) and compared by the Marquardt method and Bootstrap. We used choice and no-choice tests to evaluate the preference of *E. annulipes* and densities of 30, 40, 50, 60 and 70 larvae; 5, 10, 15, 20 and 25 pupae of *P. xylostella* to assess the type of functional response. There is a higher preference for *P. xylostella* larvae by females of the ring-legged earwig with or without choice. The predator functional response is type II in each prey stage, and Bootstrap is more efficient to predict its parameters, $a = 0.150 \text{ h}^{-1}$ and $Th = 0.223 \text{ h}$ for larvae; and $a = 0.219 \text{ h}^{-1}$ and $Th = 1.982 \text{ h}$ for pupae. Pupae provide greater weight gain for females of *E. annulipes*, which increases according to the increase in prey density up to 15 pupae.

Key words: *Euborellia annulipes*, *Plutella xylostella*, attack rate, frair, predator-prey interactions

1. Introdução

A traça-das-crucíferas *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) é um inseto oligófago que se alimenta de diversas crucíferas (Brassicaceae) agrícolas ou ornamentais (Sarfraz et al., 2006; Newman et al., 2016), sendo praga-chave dessas culturas no mundo. No Brasil é um dos insetos-praga exóticos introduzidos em meados da década de 20 (Oliveira et al., 2013), responsável por gerar prejuízos econômicos consideráveis nas produções de brássicas, induzindo os produtores a buscar métodos de controle eficientes e de menor custo.

Um dos entraves para a eficiência de controle de *P. xylostella* é a rapidez de multiplicação das populações, em função da temperatura (Golizadeh et al., 2007; Zhang et al., 2013) e da capacidade de resistência a inseticidas e bio-inseticidas (Santos et al., 2011; Zhou et al., 2011; Silva et al., 2012a; Zago et al., 2014). O controle biológico é uma das alternativas mais emergentes para a redução das populações de insetos-praga e do uso de produtos sintéticos prejudiciais ao homem e ao meio ambiente, principalmente quando se busca uma agricultura sustentável e são usados inimigos naturais eficientes (Atlihan et al., 2010).

A tesourinha *Euborellia annulipes* (Lucas) (Dermaptera: Anisolabididae) apresenta ampla distribuição geográfica (Kocarek et al., 2015) e tem sido destacada pela eficiência predatória de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) e do pulgão *Hyadaphis foeniculi* (Passerini) (Hemiptera: Aphididae) (Silva et al., 2009; Silva et al., 2010). Trabalhos avaliando o comportamento de predação desse inseto ainda são incipientes, o que sugere estudos mais diversificados de suas interações com outros insetos-praga de importância econômica.

O conhecimento das interações predador-presa é fundamental para a implementação de programas de controle biológico, importante componente do manejo integrado de pragas (Bale et al., 2008; Sultan e Khan, 2014). O sucesso de um predador pode depender do conhecimento de atributos ou características de sua predação, como a capacidade de busca, a preferência e a taxa de predação. O comportamento do consumo de presas por predadores pode variar de acordo com a fase de desenvolvimento e espécie do predador, a temperatura, a fase de desenvolvimento, a aplicação de produtos químicos e a densidade da presa (Farhadi et al., 2010; Campos et al., 2011; Englund et al., 2011; Sentis et al., 2012; Malaquias et al., 2014; Malaquias et al., 2015; Queiroz et al., 2015; Santos et al., 2016).

A taxa de predação de um entomófago (número de presas consumidas por unidade de tempo) tem relação com a densidade da presa e pode definir um tipo de resposta funcional, a qual é fundamental para caracterizar o potencial de redução da população de presas (O'Neil, 1989). A resposta funcional determina o número de presas atacadas e consumidas em função da sua abundância por unidade de tempo e foi subdividida em três tipos básicos, I, II e III, os quais devem incluir a taxa de ataque e o tempo de manipulação (tempo gasto pelo predador atacando, matando e consumindo a presa) (Holling, 1959; Holling, 1966; Pervez e Omkar, 2005).

As curvas de resposta funcional podem representar um aumento de consumo de forma linear (Tipo I), um consumo com comportamento de desaceleração (Tipo II) ou uma relação sigmoideal (Tipo III), resultando respectivamente em uma taxa de predação de presas constante, decrescente ou crescente (Sarnelle e Wilson, 2008; Shah e Khan, 2013), sendo o Tipo II o mais comum para os insetos predadores. A avaliação da taxa de ataque e tempo de manipulação de presas por predadores invertebrados é realizada

para determinar o tipo de resposta funcional e essa dinâmica pode ser determinada a partir de estimadores matemáticos (Zamani et al., 2006; Tonnang et al., 2009).

Nesta pesquisa, admitiram-se as seguintes hipóteses: (1) há variações no comportamento de predação, preferência de consumo e ganho de peso de fêmeas de *E. annulipes* em função do estágio da presa *P. xylostella*, (2) ocorre aumento no número de presas consumidas em função da sua densidade, (3) em condições de livre escolha lagartas são mais consumidas que pupas, contudo, (4) em condições com escolha a quantidade de lagartas e pupas consumidas por fêmeas de *E. annulipes* é similar. Com isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência das fases de desenvolvimento e densidades da presa, *P. xylostella*, sobre a preferência, o ganho de peso e a resposta funcional de fêmeas de *E. annulipes*. Além disso, objetivou-se avaliar a eficiência de estimativa dos parâmetros relativos à resposta funcional, como taxa de ataque e tempo de manipulação do predador, a partir de dois métodos estatísticos.

2. Material e métodos

2.1. Localização e condições do experimento

O experimento foi conduzido no Laboratório de Entomologia, Campus II da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Areia, Paraíba. Para esta pesquisa, foram utilizadas como insetos predadores adultos (fêmeas) de *E. annulipes* e como presas lagartas e pupas de *P. xylostella*, ambas obtidas de criação no laboratório.

2.2. Criação do predador

As tesourinhas *E. annulipes* foram criadas em laboratório, sob condições de temperatura de 25 ± 2 °C, umidade relativa do ar de $70 \pm 10\%$ e fotofase de 12 h, e alimentadas com dieta artificial [composição para 1000 g de dieta: 130 g de leite em pó (13%), 220 g de levedo de cerveja (22%), 260 g de farelo de trigo (26%), 350 g de ração inicial para frango de corte (35%) e 40 g de nipagin (4%)] (Silva et al. (2009). As ninfas foram separadas 24 h após eclosão em recipientes plásticos transparentes (13 cm de largura x 20 cm de comprimento x 7 cm de altura) contendo papel filtro umedecido como abrigo e a dieta. Cada recipiente apresentava uma densidade média de 40 ninfas abrigadas entre o papel umedecido. Limpezas nos recipientes e substituição das dietas foram realizadas a cada três dias, ou quando necessário, e a mudança de ínstar foi observada diariamente até obtenção dos adultos, cujo sexo foi diferenciado a partir dos fórceps (machos com o fórceps esquerdo curvado, fêmeas com fórceps de mesmo tamanho).

Fêmeas e machos foram agrupados em um total de 32 insetos/recipiente, numa densidade de um macho para cada três fêmeas. Os ovos obtidos foram separados juntamente com a mãe sobre papel filtro umedecido em placas de Petri (8 cm de diâmetro x 11 cm de largura).

2.3. Criação da presa

A traça-das-crucíferas, *P. xylostella*, foi obtida em uma produção comercial de repolho no município de Areia, Paraíba, Brasil e levadas para criação em laboratório com temperatura de 26 ± 2 °C, umidade relativa do ar de $70 \pm 10\%$ e fotofase de 12 h. As lagartas foram criadas em recipientes plásticos transparentes (25 cm de largura x 36

cm de comprimento x 12 cm de altura) fechados com tecido *voile* (50 cm de comprimento x 35 cm de largura) e alimentadas com folhas de couve (*B. oleracea* var. *acephala*) cultivar Geórgia.

As pupas foram retiradas das folhas com auxílio de um pincel e acondicionadas até emergência em tubos de ensaio com fundo chato (8,5 cm de altura x 2 cm de diâmetro) vedados com algodão hidrófilo. Após a emergência, fêmeas e machos foram acondicionados em gaiolas plásticas (6,5 cm de diâmetro x 15 cm de altura) fechadas com tecido *voile* na parte superior contendo no seu interior folhas de couve para oviposição. As folhas com os ovos foram retiradas e acondicionadas dentro de outro tipo de recipiente (13 cm de largura x 20 cm de comprimento x 7 cm de altura) até a eclosão e folhas novas foram adicionadas nas gaiolas a cada dois dias. O alimento dos adultos consistiu de uma solução de mel (5%) + água (95%) disposta em algodão hidrófilo na parte superior da gaiola.

2.4. Teste de escolha

A preferência de *E. annulipes* pelas fases de desenvolvimento de *P. xylostella* foi realizada mediante testes com e sem chance de escolha liberando-se uma fêmea do predador, em jejum de 24 h, no centro de placas de Petri de vidro (16 cm de diâmetro x 2 cm de altura) contendo 40 indivíduos (presas). Quatro discos foliares de couve (4 cm de diâmetro) contendo 10 presas (lagartas de quarto ínstar e pupas) foram distribuídos de forma equidistante em cada placa. No teste sem chance de escolha foram utilizadas 40 lagartas de quarto ínstar e 40 pupas, e no teste de livre escolha 20 lagartas e 20 pupas da traça-das-crucíferas. O número de presas consumidas foi contabilizado durante um período de 6 h, de acordo com Vacari et al. (2012).

Foram utilizadas 10 repetições em cada tratamento nos testes com e sem chance de escolha. A possibilidade de fitofagia foi observada durante o experimento, visto que *E. annulipes* é considerada uma espécie onívora e com possibilidade de consumir sementes ou plantas jovens com tecidos frágeis (Kocarek et al., 2015).

2.5. Resposta funcional e ganho de peso

A resposta funcional foi avaliada em função das seguintes densidades para lagartas: 30, 40, 50, 60 e 70, e para pupas: 5, 10, 15, 20 e 25. A escolha das densidades foi determinada em virtude de ensaios prévios e observações realizadas durante avaliação da predação de fêmeas adultas. Um predador adulto (fêmea) em jejum de 24 h foi colocado em placas de Petri (8,5 cm de diâmetro x 1,5 cm de altura) contendo um disco foliar de couve de tamanho similar ao da placa e as presas nas referidas densidades. Foi avaliado o número de presas consumidas. Lagartas apresentando lesões no tegumento, dificuldade de mobilização e pupas parcial ou completamente consumidas foram consideradas predadas. Cada fêmea foi pesada antes e 24 h depois para determinar se houve efeito das densidades da presa sobre o ganho de peso do predador, determinando-se a proporção de peso adquirido. Foram utilizadas 10 repetições em cada tratamento para avaliações da resposta funcional e proporção de peso.

2.6. Análise dos dados

O delineamento estatístico adotado na experimentação foi o inteiramente casualizado. Nos testes com e sem chance de escolha foi aplicado um esquema fatorial 2 x 2 (chances x presas) e foram observados o número de lagartas e pupas consumidas,

comparando-se a proporção de consumo usando o PROC GLIMMIX (Cody, 2015) utilizando a distribuição beta. Os dados de ganho de peso foram submetidos a testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e de homogeneidade de variâncias (Bartlett test) com transformação BoxCox para análises de variância (ANOVA). Foi utilizado modelo de regressão linear, considerando-se o peso a variável dependente e as densidades do tipo de presa (lagarta e pupa) variável independente. No caso de não ajustamento de modelos de regressão, comparou-se a proporção de peso adquirido pelo predador em função das densidades da presa a partir de teste de média (Tukey a 5% de probabilidade).

Os dados foram submetidos à análise de regressão logística polinomial com distribuição de erro quasibinomial usando o modelo linear generalizado, função GLM (R Development Core Team, 2014) para determinar o tipo de resposta funcional. Quando o sinal do coeficiente linear é negativo, existe evidência de resposta funcional do tipo II e positivo para o tipo III (Juliano, 2001). Em virtude do fato das presas não terem sido repostas durante o experimento, os dados do número de lagartas e pupas consumidas foram analisados pela equação aleatória tipo II de Rogers (Rogers, 1972) com regressão não linear para determinação dos parâmetros de resposta funcional, dados por:

$$Na = No \{1 - \exp [a(ThNa - T)]\} \quad (1)$$

Onde, Na = Número de presas consumidas; No = número de presas fornecidas; a = taxa de ataque; Th = tempo de manipulação e T = tempo de exposição do predador as presas (24 h).

Os parâmetros taxa de ataque (a) e tempo de manipulação (Th) foram analisados por regressão não linear, como proposto por Rogers (1972), utilizando-se a função FRAIR (R Development Core Team, 2014; Pritchard, 2016), com dados estimados por

Bootstrap. As estimativas obtidas foram comparadas com as do método de Marquardt no PROC NLIN (Cody, 2015) a partir dos intervalos de confiança (IC 95%) gerados: se o IC não se sobrepõe, a diferença entre as médias é significativa ($P < 0,05$) (Di Stefano, 2005). Critérios de informação foram utilizados para avaliação do modelo obtido no R.

O coeficiente de determinação (R^2) dos modelos não lineares foi calculado mediante o uso da soma dos quadrados não correlacionada ao invés da soma dos quadrados do total. Foram utilizados outros indicadores para comparação de modelos não lineares, tais como, coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}), critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC) e critério de informação de Akaike corrigido (AICC):

$$L = -\frac{N}{2} \ln \left(\frac{RSS}{N} \right) \quad (2)$$

$$AIC = -2L + 2K \quad (3)$$

$$BIC = -2L + K \ln(N) \quad (4)$$

$$AICC = -2L + 2KN/(N - K - 1) \quad (5)$$

Sendo que K = número de parâmetros, incluindo o erro, e L indica o valor de log da máxima verossimilhança. L pode ser obtido a partir de N e RSS, correspondendo respectivamente ao número amostral e soma de quadrados do resíduo.

3. Resultados

3.1. Preferência de consumo

Foi possível constatar que ocorreu maior consumo de lagartas em relação a pupas de *P. xylostella* ($F = 291,3$; $P < 0,001$) por fêmeas de *E. annulipes*, tanto em

testes com e sem escolha ($F = 33,7$; $P < 0,001$) (Tabela 1). No período de 6 h de avaliação maior proporção de consumo de lagartas e pupas foi verificada em condições de escolha, respectivamente 0,31 e 0,11 presas consumidas. Não foi observada fitofagia de *E. annulipes* durante as avaliações.

3.2. Resposta funcional e ganho de peso

O número de lagartas e pupas de *P. xylostella* consumidas por fêmeas de *E. annulipes* aumentou de acordo com a densidade da presa. A partir do sinal negativo do coeficiente linear da regressão logística (Tabela 2) foi possível evidenciar uma curva de resposta funcional do Tipo II (Rogers, 1972) para cada fase da presa. Foi possível visualizar uma resposta quadrática da predação de *E. annulipes* como função do aumento da densidade de presas (Figura 1). O tipo de resposta funcional pode ser confirmado mediante os valores dos critérios de informação expostos na Tabela 3, onde, para lagartas BIC indicou melhor ajuste do modelo em relação ao AIC e AICC, e para pupas o AICC apresentou menor valor.

Os valores de taxa de ataque (a) e de tempo de manipulação (Th) de *E. annulipes* se diferenciaram em cada uma das fases de *P. xylostella* e houve variabilidade entre os intervalos de confiança (ICs), de acordo com os métodos estatísticos utilizados em cada fase da presa. A tesourinha apresentou valor de $a = 0,182 \text{ h}^{-1}$ sobre lagartas, quando observada pelo método de Marquardt e $a = 0,150 \text{ h}^{-1}$ quando estimada por Bootstrap. Para pupas, os valores de a estimados pelos métodos de Marquardt e Bootstrap foram, respectivamente, de $0,085 \text{ h}^{-1}$ e $0,219 \text{ h}^{-1}$. O tempo de manipulação (Th) da tesourinha *E. annulipes* sobre as lagartas de *P. xylostella* foi de 0,268 e 0,223 h, já para pupas foi

de 1,514 e 1,982 h, respectivamente, pelos métodos de Marquardt e Bootstrap (Tabela 4).

A taxa de ataque de *E. annulipes* em lagartas apresentou diferença entre os intervalos de confiança estimados pelos métodos de Marquardt e Bootstrap de 0,365 e de 0,208, respectivamente, em contrapartida, as diferenças entre os ICs para a taxa observada em pupas foi de 0,311 e 0,169. O tempo de manipulação de *E. annulipes* em lagartas apresentou diferença de 0,465 entre os ICs, segundo Marquardt, enquanto que via Bootstrap o valor foi de 0,216. Para pupas a diferença observada entre os ICs para *Th* apresentou valor de 3,094 de acordo com o Marquardt e de 1,394 por Bootstrap. Constatou-se que a partir do método de Marquardt ocorreram valores de intervalos de confiança mais longos em relação ao Bootstrap, tanto para lagartas quanto pupas fornecidas como presa para *E. annulipes* (Tabela 4).

O ganho de peso das fêmeas de *E. annulipes* em função das densidades da presa não respondeu a nenhum ajuste de modelo de regressão, assim, determinou-se a proporção do peso adquirido pelo predador em cada densidade. Foi verificado maior ganho de peso nas fêmeas da tesourinha quando elas foram alimentadas com lagartas de *P. xylostella* na densidade de 50 indivíduos/fêmea do predador, sendo menor na densidade de 60 indivíduos (Figura 2A). Quando pupas foram fornecidas ao predador o ganho de peso aumentou conforme as densidades da presa, sendo inferior na menor densidade de pupas (Figura 2B). O ganho de peso das fêmeas do predador é mais expressivo quando as mesmas consomem pupas em relação a lagartas.

4. Discussão

Comprovou-se que *E. annulipes* apresentou maior preferência por lagartas em relação a pupas de *P. xylostella* em testes com e sem chance de escolha (Tabela 1). A preferência de predadores, como os percevejos *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Hemiptera: Pentatomidae), por lagartas de lepidópteros-praga em relação às pupas foi observada por outros autores avaliando testes de escolha (Vacari et al., 2012; Santos et al., 2016). A interação predador-presa e o consumo da presa podem ocorrer devido a fatores que facilitam ou estimulam a preferência da predação. Foi observado por Huang e Enkegaard (2010) que *Chrysoperla carnea* Stephens (Neuroptera: Chrysopidae) prefere consumir lagartas em relação a ovos de *Pieris brassicae* (L.) (Lepidoptera: Pieridae). Lagartas de *P. xylostella* são muito ágeis e, para consumi-las, foi observado que antes do uso do aparelho bucal mastigador as fêmeas de *E. annulipes* utilizavam os fórceps para prender a presa e evitar sua fuga. Em pupas, o ataque de *E. annulipes* geralmente começava pelo abdômen, parte menos rígida e móvel quando o predador era detectado.

As características do tegumento da presa e do aparelho bucal do predador são alguns dos fatores que parecem condicionar a escolha e comportamento de consumo do alimento pelo inimigo natural (Morrison et al., 2016). A tesourinha *E. annulipes*, comparada aos percevejos predadores supracitados, apresenta aparelho bucal do tipo mastigador, dessa forma pode necessitar de mais energia para superar o casulo de fios que envolve a pupa e realizar a predação. Diferentemente, o aparelho bucal do tipo sugador labial ou picador-sugador dos percevejos, pode facilitar o acesso à pupa, a morte da presa com ingestão extra-oral (Martínez et al., 2016) e o consequente consumo sem rompimento dos fios. Apesar dos predadores *Podisus rostralis* (Stål) (Hemiptera: Pentatomidae) e *P. nigrispinus* preferirem atacar, respectivamente, lagartas imóveis de

Bombyx mori (L.) (Lepidoptera: Bombycidae) e lagartas de *S. frugiperda* sem o comportamento natural de defesa, as partes atacadas do corpo dessas presas são menos tenras em relação a pupas.

Presas que apresentam movimentação mais lenta fazem com que o predador gaste menos energia durante o ataque (Lemos et al., 2005; Zanuncio et al., 2008). No entanto, pode-se visualizar que a detecção de *P. xylostella* pelas fêmeas de *E. annulipes* pode ser incitada pelas movimentações da presa, comportamentos que estimulam o ataque e a predação (Silva et al., 2012b; Vacari et al., 2012). Vale salientar que a ecologia química pode explicar determinadas interações entre entomófagos predadores e presas. Os glucosinatos (sinigrina) que favorecem a presença da presa, cairomônios e outros aleloquímicos podem ser detectados por predadores e influenciarem na busca pela presa (Vuorinen et al., 2004; Rani, 2014; Amiri-Jami et al., 2015).

Assim como foi evidenciado neste trabalho, a desaceleração ou diminuição no consumo de presas que caracteriza uma resposta funcional do tipo II é comum para predadores invertebrados (Milonas et al., 2011, Vieira et al., 2012). Foi observado por Sueldo et al (2010) que a resposta funcional do dermáptero predador *Doru lineare* (Eschscholtz) (Dermaptera: Forficulidae) sobre lagartas de *S. frugiperda* também foi do tipo II, com $a = 0,374 \text{ h}^{-1}$ e $Th = 182,9 \text{ h}$. Outras fêmeas predadoras também apresentam esse tipo de resposta sobre lagartas e pupas de *P. xylostella* (Ma et al., 2005; Vacari et al., 2012).

A resposta funcional de predadores pode apresentar variações em função do comportamento evasivo da presa, movimentações, por exemplo, ou do estímulo de ataque e satisfação alimentar do predador (Botteon et al., 2016). Os predadores que apresentam uma resposta funcional do tipo II podem ser usados em programas de

controle biológico inundativo que visam obtenção de uma redução direta da praga-alvo (Van Lenteren, 2012).

Os experimentos conduzidos em laboratório, como o realizado nesta pesquisa, não fornecem as mesmas condições em que o predador estará exposto em campo, principalmente quando se refere ao tamanho da área de contato predador-presa (arena) (Hassanpour et al., 2010). Menores áreas podem forçar o predador a manter maior ou menor contato com as densidades da presa fornecida no substrato utilizado (Van Lenteren et al., 2016) e aumentar a possibilidade de obtenção de respostas do tipo II (Papanikolaou et al., 2014). A estrutura das plantas hospedeiras do fitófago também é um fator que media ou condiciona a relação predador-presa (Jalali et al., 2016). Dessa forma, estudos conduzidos em uma área de produção são importantes para assegurar a eficiência do predador *E. annulipes* em campo.

Nesta pesquisa as fêmeas do predador foram submetidas exclusivamente a densidades das fases de *P. xylostella*, lagartas e pupas. Contudo, as condições ecológicas, a variação de presas, principalmente para entomófagos generalistas, a densidade de outros predadores (Katrina et al., 2007; Katrina et al., 2009; Sentis et al., 2012) e o manejo da resistência a inseticidas ou controle da praga adotados no sistema de produção da cultura (Malaquias et al., 2014; Malaquias et al., 2015), podem modular a predação e serem determinantes para o tipo de resposta funcional de *E. annulipes*.

O método Bootstrap está associado ao pacote FRAIR, ferramenta de suporte para análise de resposta funcional (Pritchard, 2016), com trabalhos ainda incipientes que reportam a sua eficiência na estimativa dos parâmetros a e Th para insetos predadores. Anderson (2016) utilizou esse pacote estatístico para análise da resposta funcional de odonatas predadoras. Neste trabalho, associamos a funcionalidade do pacote estatístico

como ferramenta para predição da resposta funcional de *E. annulipes* tendo como presa *P. xylostella* e, ainda, foi possível comparar com o método de Marquardt dentro do procedimento NLIN no SAS que é o mais comumente usado em pesquisas científicas. A variabilidade dos ICs (Tabela 4) foi o ponto chave para diferenciar a precisão do método de Marquardt em comparação ao Bootstrap.

Os critérios de informação são utilizados para melhor avaliação e seleção de modelos (Posada e Buckley, 2004), e suas eficiências são alvo de muita discussão em trabalhos científicos. Santos et al. (2016) constataram que não houve ajuste do modelo de Roger para a resposta funcional de *P. nigrispinus* tendo lagartas ou pupas de *A. argilacea* como presas a partir dos valores de AIC. Este critério de informação é comumente usado para avaliar o ajuste dos modelos (Haghani et al., 2009).

A exposição de *E. annulipes* a densidades de *P. xylostella* influenciou no seu ganho de peso, principalmente em função da fase de desenvolvimento da presa. Nesta pesquisa, as pupas do inseto-praga favoreceram o maior peso da tesourinha, possivelmente por apresentar maior quantidade de nutrientes em relação às lagartas de *P. xylostella*. O tipo de presa ou alimento consumido podem influenciar no peso do predador em suas diferentes fases de desenvolvimento (Lemos et al., 2003; Vivan et al., 2003; Lemos et al., 2009; De Jesus et al., 2014) e alguns insetos predadores podem consumir presas menos nutritivas em menor quantidade (Parra et al., 2009). A tesourinha apresentou maior preferência por lagartas em relação a pupas (Tabela 1), e observou-se que a movimentação da presa estimulou o ataque do predador.

A influência da qualidade nutricional da presa no peso do predador foi observada por Zanuncio et al. (2005) e De Bortoli et al. (2011) para heterópteros predadores. *P. nigrispinus* apresentam menor ganho de peso quando consomem pupas

de *P. xylostella* e *A. argillacea* (Vacari et al., 2012; Santos et al., 2016). O ganho de massa é importante para indicar a quantidade de nutrientes acumulados, os quais afetarão o desenvolvimento e a fecundidade de insetos (Omkar et al., 2006). Diante disso, o confinamento de *E. annulipes* com pupas da traça-das-crucíferas, do primeiro ao último instar, provavelmente forneça condição alimentar mais favorável a pelo menos um destes parâmetros biológicos da tesourinha.

Van Lenteren et al. (2016) afirmaram que, apesar da dificuldade de interpretação dos resultados da resposta funcional e da limitação para estimar a capacidade de controle biológico dos inimigos naturais, as taxas de predação obtidas para uma gama de densidades de presas fornecem, ao menos, algumas informações sobre a capacidade de um predador para reduzir as densidades de pragas. Com isso, o entendimento das interações predador-presa podem ajudar na tomada de decisões, na otimização das estratégias para o manejo integrado de *P. xylostella* e no desenvolvimento de técnicas mais apuradas para uso de *E. annulipes* no campo.

5. Conclusões

Existe maior preferência de consumo de lagartas de *P. xylostella* por tesourinhas *E. annulipes*. A resposta funcional da tesourinha é do tipo II em qualquer fase da presa e as estimativas da taxa de ataque e de manipulação são diferenciadas entre os métodos de Marquardt e Bootstrap. Utilizando-se Bootstrap são encontradas maiores estabilidades dos intervalos de confiança e as simulações com este método, quando comparado ao Marquardt, são capazes de estimar de forma mais precisa parâmetros da resposta funcional de *E. annulipes* utilizando *P. xylostella* como presa. O ganho de peso é maior quando o predador se alimenta de pupas.

Referências

- Amiri-Jami A, Sadeghi-Namaghi H, Gilbert F, Moravvej G, Asoodeh A (2015). On the role of sinigrin (mustard oil) in a tritrophic context: plant–aphid–aphidophagous hoverfly. *Ecol Entomol* 41: 138–146.
- Anderson TL (2016). Predation risk between cannibalistic aeshnid dragonflies influences their functional response on a larval salamander prey. *J Zool* 300: 221-227.
- Atlihan R, Kaydan MB, Yarimbatman A, Okut H (2010). Functional response of the coccinellid predator *Adalia fasciatopunctata revelierei* to walnut aphid *Callaphis juglandis*. *Phytoparasitica* 38: 23-29.
- Bale JS, van Lenteren JC, Bigler F (2008). Biological control and sustainable food production. *Philos Trans R Soc Lond B* 363: 761–776.
- Botteon VW, Neves JA, Godoy WAC (2016). Functional response and matrix population model of *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Hemiptera: Pentatomidae) fed on *Chrysomya putoria* (Wiedemann, 1818) (Diptera: Calliphoridae) as alternative prey. *Neotrop Entomol* 1-7.
- Campos MR, Picanço MC, Martins JC, Tomaz AC, Guedes RNC (2011). Insecticide selectivity and behavioral response of the earwig *Doru luteipes*. *Crop Prot* 30: 1535-1540.
- Cody, R. (2006). An introduction to SAS Institute, Cary, NC, USA. 366p
- 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. *Biol Control* 58: 127-132.
- De Jesus FG, Boiça AL, Alves GC, Zanuncio JC (2014). Behavior, development, and predation of *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) on *Spodoptera frugiperda*

(Lepidoptera: Noctuidae) fed transgenic and conventional cotton cultivars. *Ann Entomol Soc Am* 107: 601-606.

Di Stefano J (2005). Effect size estimates and confidence intervals: an alternative focus for the presentation and interpretation of ecological data. In: Burk AR, editors. *New Trends in Ecology Research*. 1 ed. New York, NY, USA: Nova Science, pp. 71–102.

Englund G, Öhlund G, Hein CL, Diehl S (2011). Temperature dependence of the functional response. *Ecol Letters* 14: 914-921.

Farhadi R, Allahyari H, Juliano SA (2010). Functional response of larval and adult stages of *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae) to different densities of *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae). *Environ Entomol* 39: 1586-1592.

Golizadeh ALI, Kamali K, Fathipour Y, Abbasipour H (2007). Temperature-dependent development of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) on two brassicaceous host plants. *Insect Sci* 14: 309-316.

Haghani M, Fathipour Y, Talebi AA, Baniameri V (2009). Estimating development rate and thermal requirements of *Hemiptarsenus zilahisebessi* (Hymenoptera: Eulophidae) parasitoid of *Liriomyza sativae* (Diptera: Agromyzidae) using linear and nonlinear models. *Polskie Pismo Entomol* 78: 3–14.

Hassanpour M, Mohaghegh J, Iranipour S, Nouri-Ganbalani G, Enkegaard A (2010). Functional response of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) to *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae): Effect of prey and predator stages. *Insect Sci* 18:217-224.

Holling CS (1959). Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *Canadian Entomol* 91: 384–398.

- Holling CS (1966). The functional response of invertebrate predators to prey density. Mem Entomol Soc Can 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, Ziaaddini M (2016). Effects of host plant morphological features on the functional response of *Adalia bipunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) to *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). Int J Pest Manage 1-7.
- Juliano SA (2001). Nonlinear curve fitting: predation and functional response curves. In: Scheiner SM, Gurevitch J, editors. Design and Analysis of Ecological Experiments. 2nd ed. New York, NY, USA, Oxford University Press, pp. 178–196.
- Katrina P, Vos M, Anholt BR (2007) Species diversity modulates predation. Ecology 88: 1917–1923.
- Katrina P, Vos M, Bateman A, Anholt BR (2009). Functional responses modified by predator density. Oecologia 159: 425–433.
- Kocarek P, Dvorak L, Kirstova M (2015). *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae), a new alien earwig in Central European greenhouses: potential pest or beneficial inhabitant? Appl Entomol Zool 50: 201-206.
- Lemos WP, Ramalho FS, Serrão JE, Zanuncio JC (2003). Effects of diet on development of *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Het., Pentatomidae), a predator of the cotton leafworm. J Appl Entomol 127: 389-395.
- Lemos WP, Serrão JE, Zanuncio JC, Lacerda MC, Zanuncio VV, Ribeiro RC (2009). Body weight and protein content in the haemolymph of females of the zoophytophagous predator *Brontocoris tabidus* (Heteroptera: Pentatomidae) with different diets and ages. J Plant Dis Prot 116: 218-222.

- Lemos WP, Zanuncio JC, Serrão JE (2005). Attack behavior of *Podisus rostralis* (Heteroptera: Pentatomidae) adults on caterpillars of *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae). Braz Arch Biol Technol 48: 975-981.
- Ma J, Li YZ, Keller M, Ren SX (2005). Functional response and predation of *Nabis kinbergii* (Hemiptera: Nabidae) to *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). Insect Sci 12: 281-286.
- Malaquias JB, Omoto C, Ramalho FS, Wesley WAC, Silveira RF (2015). Bt cotton and the predator *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) in the management of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to lambda-cyhalothrin. J Pest Sci 88: 57-63.
- Malaquias JB, Ramalho FS, Omoto C, Godoy WAC, Silveira RF (2014). Imidacloprid affects the functional response of predator *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) to strains of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) on Bt cotton. Ecotoxicology 23: 192-200.
- Martínez LC, Fialho MDCQ, Barbosa LCA, Oliveira LL, Zanuncio JC, Serrão JE (2016). Stink bug predator kills prey with salivary non-proteinaceous compounds. Insect Biochem Molec Biol 68: 71-78.
- Milonas PG, Kontodimas DC, Martinou AF (2011). A predator's functional response: influence of prey species and size. Biol Control 59: 141-146.
- Morrison WR, Mathews CR, Leskey TC (2016) Frequency, efficiency, and physical characteristics of predation by generalist predators of brown marmorated stink bug (Hemiptera: Pentatomidae) eggs. Biol Control 97: 120-130.

- Newman K, You M, Vasseur L (2016). Diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) exhibits oviposition and larval feeding preferences among crops, wild plants, and ornamentals as host plants. *J Econ Entomol* 109: 644-648.
- O'Neil RJ (1989). Comparison of laboratory and field measurements of the functional response of *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomidae). *J Kansas Entomol Soc* 62: 148–155.
- Oliveira CS, Auad AM, Mendes SM, Frizzas MR (2013). Economic impact of exotic insect pests in Brazilian agriculture. *J Appl Entomol*. 137: 1–15.
- Omkar MG, Singh SK (2006). Optimal number of matings in two aphidophagous ladybirds. *Ecol Entomol* 31: 1-4.
- Papanikolaou NE, Milonas PG, Demiris N, Papachristos DP, Matsinos YG (2014). Digestion limits the functional response of an aphidophagous coccinellid (Coleoptera: Coccinellidae). *Ann Entomol Soc Am* 107: 468-474.
- Parra JRP, Panizzi AR, Haddad ML (2009). Índices nutricionais para medir consumo e utilização de alimentos por insetos. In: Panizzi AR, Parra JRP, editors. *Bioecologia e nutrição de insetos: base para o manejo integrado de pragas*. 1 ed. Brasília, DF, BRA, Embrapa Informação Tecnológica, pp. 75.
- Pervez A, Omkar (2005). Functional responses of coccinellid predators: an illustration of a logistic approach. *J Insect Sci* 5: 1–6.
- Posada D, Buckley TR (2004). Model selection and model averaging in phylogenetics: advantages of Akaike information criterion and Bayesian approaches over likelihood ratio tests. *System Biol* 53: 793-808.
- Pritchard DW (2016). *frair*: Functional response analysis in R. R package version 0.4. <https://CRAN.R-project.org/package=frair>. Acessado em Dez 2016.

- Queiroz OS, Ramos RS, Gontijo LM, Picanço MC (2015). Functional response of three species of predatory pirate bugs attacking eggs of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Environ Entomol* 44: 246-251.
- R Development Core Team. (2015). R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Available: <http://www.rproject.org/>. Acessado em Ago 2016.
- Rani PU (2014). Kairomones for increasing the biological control efficiency of insect natural enemies. In: Sahayaraj K, editor. Basic and applied aspects of biopesticides. 1 ed. Springer, India. pp. 289-306.
- Rogers D (1972). Random search and insect population models. *J Anim Ecol* 41: 369-383.
- Santos BDB, Ramalho FS, Malaquias JB, Lira ACS, Pachú JK, Fernandes FS, Zanuncio JC (2016). How predation by *Podisus nigrispinus* is influenced by developmental stage and density of its prey *Alabama argillacea*. *Entomol Exp Appl*, 158: 142-151.
- Santos VC, De Siqueira HAA, Da Silva JE, De Farias MJDC (2011). Insecticide resistance in populations of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), from the state of Pernambuco, Brazil. *Neotrop Entomol* 40: 264-270.
- Sarfraz M, Dosdall LM, Keddie BA (2006). Diamondback moth-host plant interactions: Implications for pest management. *Crop Protec* 25: 625–639.
- Sarnelle O, Wilson AE (2008). Type III functional response in *Daphnia*. *Ecology* 89: 1723–1732.

Sentis A, Hemptinne JL, Brodeur J (2012). Using functional response modeling to investigate the effect of temperature on predator feeding rate and energetic efficiency. *Oecologia* 169: 1117-1125.

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

Silva ABD, Batista JDL, Brito CHD (2009). Capacidade predatória de *Euborellia annulipes* (Lucas, 1847) sobre *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797). *Acta Sci Agron* 31: 7-11.

Silva ABD, Batista JDL, Brito CHD (2010). Aspectos biológicos de *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae) alimentada com o pulgão *Hyadaphis foeniculi* (Hemiptera: Aphididae). *Rev Caatinga* 23: 21-27.

Silva JE, Siqueira HA, Silva TB, Campos MR, Barros R (2012a). Baseline susceptibility to chlorantraniliprole of Brazilian populations of *Plutella xylostella*. *Crop Protec* 35: 97-101.

Silva RBD, Corrêa AS, Della Lucia TMC, Pereira AIA, Cruz I, Zanuncio JC (2012b). Does the aggressiveness of the prey modify the attack behavior of the predator *Supputius cincticeps* (Stål) (Hemiptera, Pentatomidae)?. *Rev Bras Entomol* 56: 244-248.

Sueldo MR, Bruzzone AO, Virla EG (2010). Characterization of the earwig, *Doru lineare*, as a predator of larvae of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*: a functional response study. *J Insect Sci* 10: 38.

Sultan A, Khan MF (2014). Functional response of *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae) to sugarcane whitefly *Aleurolobus barodensis* (Maskell) in laboratory conditions. *J Insec Behav* 27: 454-461.

- Tonnang HE, Nedorezov LV, Owino JO, Ochanda H, Löhr B (2009). Evaluation of discrete host–parasitoid models for diamondback moth and *Diadegma semiclausum* field time population density series. *Ecol Modell* 220: 1735-1744.
- Vacari AM, De Bortoli SA, Torres JB (2012). Relationship between predation by *Podisus nigrispinus* and developmental phase and density of its prey, *Plutella xylostella*. *Entomol Exp Appl* 145: 30-37.
- Van Lenteren JC (2012). The state of commercial augmentative biological control: Plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. *BioControl* 57: 71–84.
- Van Lenteren JC, Hemerik L, Lins JC, Bueno VH (2016). Functional responses of three neotropical mirid predators to eggs of *Tuta absoluta* on tomato. *Insects* 7: 34.
- Vieira LC, Salom SM, Kok LT (2012). Functional and numerical response of *Laricobius* spp. predators (Coleoptera: Derodontidae) on hemlock woolly adelgid, *Adelges tsugae* (Hemiptera: Adelgidae). *Biol Control* 61: 47-54.
- Vivan LM, Torres JB, Veiga AF (2003). Development and reproduction of a predatory stinkbug, *Podisus nigrispinus* in relation to two different prey types and environmental conditions. *BioControl* 48: 155-168.
- Vuorinen, T, Nerg AM, Ibrahim MA, Reddy GVP, Holopainen JK (2004). Emission of *Plutella xylostella*-induced compounds from cabbages grown at elevated CO₂ and orientation behavior of the natural enemies. *Plant Physiol* 135: 1984-1992.
- Zago HB, Siqueira HA, Pereira EJ, Picanço MC, Barros R (2014). Resistance and behavioural response of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) populations to *Bacillus thuringiensis* formulations. *Pest Manage Sci* 70: 488-495.

- Zamani A, Talebi A, Fathipour Y, Baniameri V (2006). Temperature-dependent functional response of two aphid parasitoids, *Aphidius colemani* and *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Aphidiidae), on the cotton aphid. J Pest Sci 79: 183-188.
- Zanuncio JC, Beserra EB, Molina-Rugama AJ, Zanuncio TV, Pinon TBM, Maffia VP (2005). Reproduction and longevity of *Supputius cincticeps* (Het.: Pentatomidae) fed with larvae of *Zophobas confusa*, *Tenebrio molitor* (Col.: Tenebrionidae) or *Musca domestica* (Dip.: Muscidae). Braz Arch Biol Technol 48: 771-777.
- Zanuncio JC, Silva CADD, Lima ERD, Pereira FF, Ramalho FDS, Serrão JE (2008). Predation rate of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae with and without defense by *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). Braz Arch Biol Technol 51: 121-125.
- Zhang W, Zhao F, Hoffmann AA, Ma CS (2013). A single hot event that does not affect survival but decreases reproduction in the diamondback moth, *Plutella xylostella*. PLoS One 8: 1-7.
- Zhou L, Huang J, Xu H (2011). Monitoring resistance of field populations of diamondback moth *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae) to five insecticides in South China: A ten-year case study. Crop Protec 30: 272-278.

Tabela 1. Consumo (%) $\pm$ EP de lagartas e pupas de *Plutella xylostella* por fêmeas adultas de *Euborellia annulipes* durante 6 h de exposição em testes com e sem chance de escolha.

Presas**	Proporção de consumo (N_c/N_i)	
	Com escolha	Sem escolha
Lagartas	0,31 $\pm$ 0,02	0,23 $\pm$ 0,01
Pupas	0,11 $\pm$ 0,01	0,06 $\pm$ 0,00

**Diferença significativa entre as presas consumidas em cada ensaio ($P < 0,001$); N_c = número de presas consumidas, N_i = número inicial de presas.

Tabela 2. Estimativas de probabilidade máximas das regressões de proporção de consumo de fêmeas adultas de *Euborellia annulipes* em função das densidades da presa *Plutella xylostella*.

Presas	Parâmetros	Estimativas	EP	t (valor)	Valor- P
Lagartas	Intercepto	4,30e+00	9,35e+00	0,46	0,648
	Linear	-1,87e-01	5,98e-01	-0,313	0,756
	Quadrático	5,21e-03	1,22e-02	0,429	0,67
	Cúbico	-4,51e-05	7,92e-05	-0,57	0,571
Pupas	Intercepto	2,282598	1,67712	1,361	0,18
	Linear	-0,0659391	0,4166501	-0,158	0,875
	Quadrático	0,0100078	0,0296829	0,337	0,738
	Cúbico	-0,000361	0,0006334	-0,57	0,571

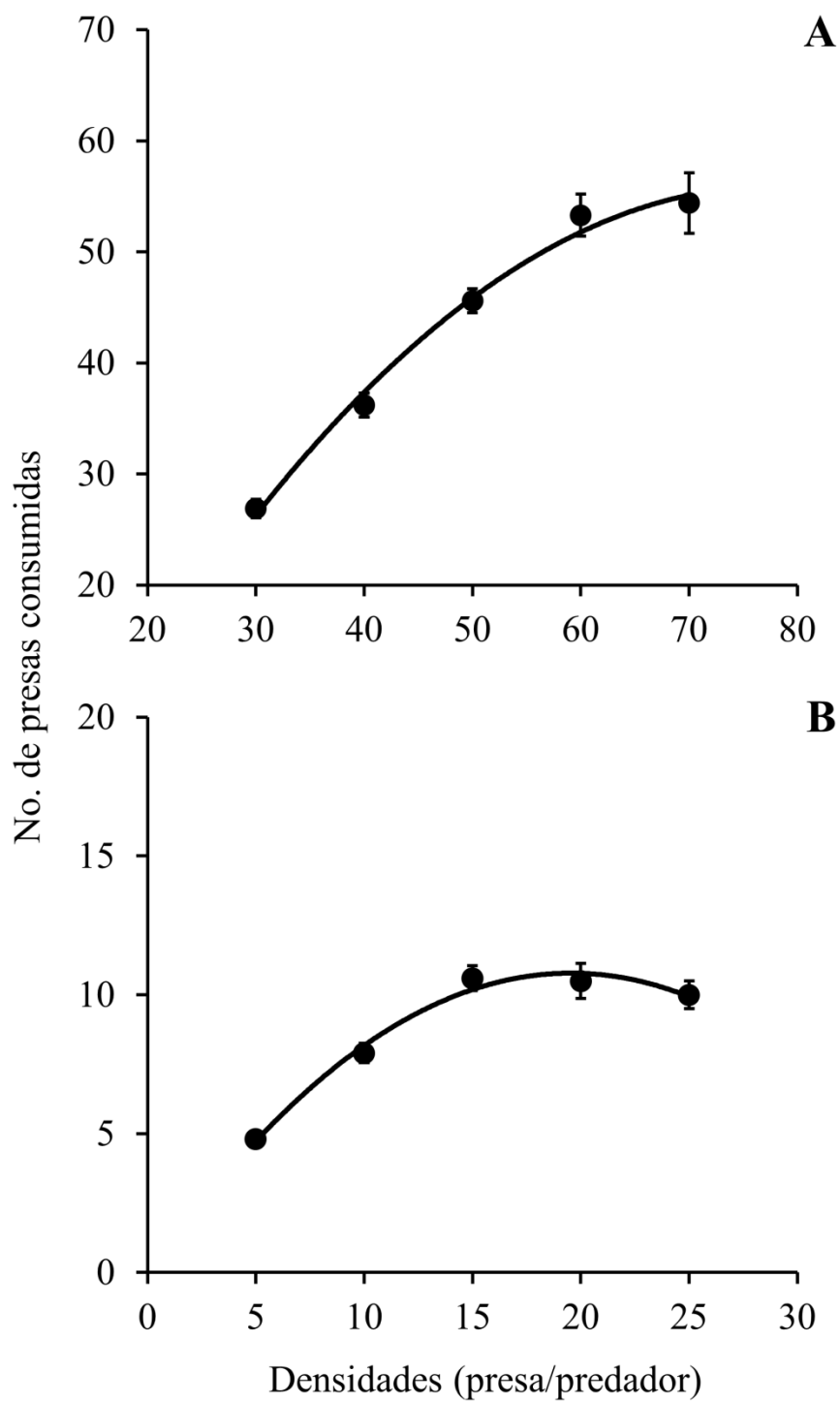


Figura 1. Número de lagartas (A) e pupas (B) de *Plutella xylostella* consumidas durante 24 h por fêmeas de *Euborellia annulipes* em função das densidades estabelecidas para cada presa.

Tabela 3. Critérios de avaliação de modelos de resposta funcional de *Euborellia annulipes* utilizando como presas lagartas e pupas de *Plutella xylostella*.

Presas	R^2	R^2_{adj}	RSS	AIC	BIC	AICC
Lagartas	0,9500	0,9472	27,4057	-9,1251	-4,0585	6,2465
Pupas	0,9552	0,9527	268,4324	82,1488	87,2154	8,7819

R^2 = coeficiente de determinação; R^2_{adj} = coeficiente de determinação ajustado; RSS = soma de quadrados residual; AIC= critério de avaliação de Akaike; BIC= critério de informação Bayesiano; AICC= critério de informação de Akaike corrigido.

Tabela 4. Estimativa média da taxa de ataque (a) e tempo de manipulação (Th) (95% intervalos de confiança) de fêmeas adultas de *Euborellia annulipes* predando lagartas e pupas de *Plutella xylostella* durante 24 h, baseada na equação de Roger.

Presas	Método Marquardt (NLIN do SAS)		Bootstrap (FRAIR do R)	
	a (h^{-1})	Th (h)	a (h^{-1})	Th (h)
Lagartas	0,182 (0,092-0,457)	0,268 (0,021-0,556)	0,150 (0,093-0,201)	0,223 (0,115-0,341)
Pupas	0,085 (0,246-0,415)	1,514 (1,815-4,843)	0,219 (0,104-0,314)	1,982 (1,749-2,208)
$P > F$	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05

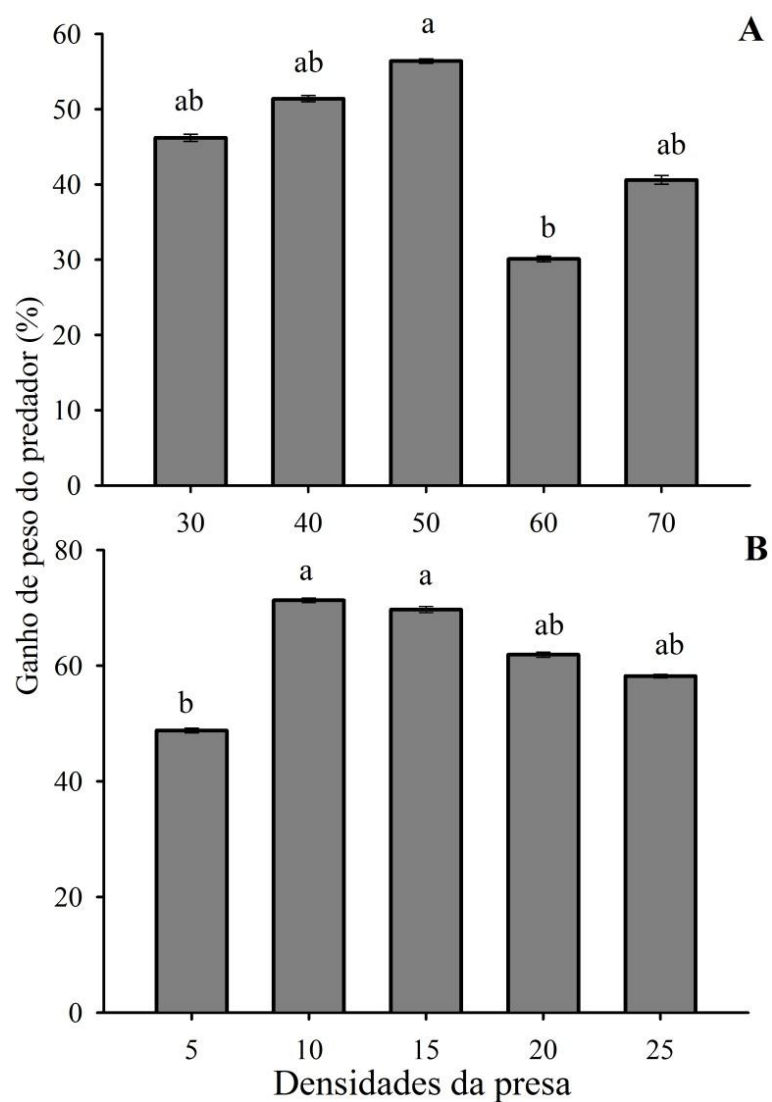


Figura 2. Ganho de peso (%) das fêmeas adultas de *Euborellia annulipes* consumindo (A) lagartas – $F = 2,64$; $P = 0,05$; e (B) pupas – $F = 3,04$; $P < 0,05$ de *Plutella xylostella* em diferentes densidades. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).