

CARLOS ANTONIO ALVES DOS SANTOS

RESPOSTA FUNCIONAL, CONSUMO E PREFERÊNCIA DO PREDADOR *Podisus nigrispinus* (HEMIPTERA: PENTATOMIDAE) POR LARVAS E PUPAS DE *Tenebrio molitor* (COLEOPTERA: TENEBRIONIDAE)

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: José Cola Zanuncio

Coorientadores: Angelica Plata-Rueda
Luis Carlos Martínez

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S237r
2022 Santos, Carlos Antonio Alves dos, 1990-
Resposta funcional, consumo e preferência do predador
Podisus nigrispinus (Hemiptera: Pentatomidae) por larvas e
pupas de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) / Carlos
Antonio Alves dos Santos. – Viçosa, MG, 2022.
1 dissertação eletrônica (28 f.): il.

Orientador: José Cola Zanuncio.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Entomologia, 2022.

Referências bibliográficas: f. 21-28.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.106>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Agentes biológicos de controle de pragas. 2. Insetos
predadores - Criação. 3. População biológica. I. Zanuncio, José
Cola, 1950-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento
de Entomologia. Programa de Pós-Graduação em Entomologia.
III. Título.

CDD 22. ed. 632.96

Bibliotecário(a) responsável: Alice Regina Pinto CRB6 2523


CARLOS ANTONIO ALVES DOS SANTOS

**RESPOSTA FUNCIONAL, CONSUMO E PREFERÊNCIA DO PREDADOR
Podisus nigrispinus (HEMIPTERA: PENTATOMIDAE) POR LARVAS E PUPAS
DE *Tenebrio molitor* (COLEOPTERA: TENEBRIONIDAE)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 21 de Fevereiro de 2022.

Assentimento:



Carlos Antonio Alves dos Santos
Autor



José Cola Zanuncio
Orientador

Dedico este trabalho aos meus pais Antonio Rocha e Marilene Alves que sempre me apoiam e incentivam a correr atrás dos meus sonhos!

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por ter me dado forças para seguir no mestrado longe da minha família e em período de pandemia mundial. À minha mãe Marilene Alves que é tudo na minha vida e sempre me apoia e me dá forças para lutar pelos meus sonhos. Ao meu pai Antonio Rocha e aos meus irmãos Cássio Ricardo e Whatana Katherine por todo amor e compreensão durante esse período que precisei me dedicar ao mestrado. Aos meus sobrinhos Jean Ricardo, Nicolay Aimée e Aylla Karolyna que são os amores da minha vida e a razão que me faz levantar todos os dias da cama em busca de proporcionar um futuro melhor à todos eles. À minha cachorrinha Shakyra Drielly que torna tudo tão mais leve com um amor mais puro desse mundo.

Ao meu orientador José Cola Zanuncio e coorientadores Angelica Plata–Rueda e Luis Carlos Martínez pela orientação da pesquisa e escrita da dissertação. Aos meus amigos de laboratório Gabriel Paiola e Verônica Cañas que em pouco tempo se tornaram fundamentais nessa trajetória. Ao meu também amigo de laboratório Valdeir Celestino que com toda sua experiência e empatia, soube se colocar no meu lugar e me ajudar nas dificuldades que encontrei durante os experimentos e trabalho no laboratório.

Agradeço à Universidade Federal de Viçosa que me acolheu e abrigou durante meus experimentos na pandemia. Ao programa de Pós-Graduação em Entomologia e todo corpo docente que contribuíram para minha formação profissional.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos. Ao Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária (Bioagro) e ao laboratório de Controle Biológico de Insetos por ceder espaço para que eu pudesse realizar os experimentos da minha pesquisa.

Ao meu amigo Alexandre Valente por ter me recebido e acolhido em sua casa durante o mestrado e, principalmente, por todo apoio e amizade durante esses anos. À Adriana Lopes e família por todo carinho, amizade e acolhimento na cidade de Viçosa. Aos amigos Júlio Mathias e Luís Ricardo pelos momentos de descontração e leveza. Aos amigos de longa data Celi da Silva, Geórgia Rocha, Felipe Baptista, Phablo Dias, Tatiane Barcelos, Sabrina Mayer, Ricardo Ramires, Rafael Cavassani, Maysa Barreto, Fernanda Conceição e Iamin Guedes, que virtualmente foram essenciais para me manter forte e focado nos meus objetivos.

“Vai. E, se der medo, vai com medo mesmo. Se joga! Você recebe da vida aquilo que tem coragem de pedir”.

(Alpheu Mattos)

RESUMO

DOS SANTOS, Carlos Antonio Alves, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2022. **Resposta funcional, consumo e preferência do predador *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) por larvas e pupas de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae)**. Orientador: José Cola Zanuncio. Coorientadores: Luis Carlos Martínez e Angelica Plata-Rueda.

Alternativas de controle de insetos que visam proteger o meio ambiente sem prejudicar a saúde humana são estudadas. O controle biológico, uso de inimigos naturais para supressão de pragas, é uma dessas alternativas utilizadas no manejo integrado de pragas (MIP). *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Hemiptera: Pentatomidae) é um inimigo natural bastante utilizado em programas de controle biológico na agricultura e silvicultura, pois se adapta a diferentes presas e temperaturas, facilitando a criação massal. A qualidade e o número de presas afetam os parâmetros biológicos e reprodutivos. A resposta funcional é utilizada para avaliar o comportamento de um predador em diferentes densidades de presa. O objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta funcional, consumo e preferência de *P. nigrispinus* por larvas e pupas de *Tenebrio molitor* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera: Tenebrionidae), presa alternativa utilizada na criação desse predador. A resposta funcional (tipo de resposta funcional, taxa de ataque e tempo de manuseio) de *P. nigrispinus* foi avaliada em cinco densidades de presas (1, 2, 4, 8 e 16 larvas ou pupas de *T. molitor*) com dez repetições por 72 horas. A preferência de *P. nigrispinus* pela fase de desenvolvimento de *T. molitor* foi avaliada em teste de livre escolha em placas de Petri, com uma presa (larva e pupa) nas extremidades opostas da mesma. Cento e vinte indivíduos de *P. nigrispinus* (60 por sexo) foram utilizados. A escolha era registrada quando o predador *P. nigrispinus* inseria seu estilete na larva ou pupa de *T. molitor* e permanecia por, pelo menos, 10 minutos se alimentando. O consumo de presas foi avaliado com 30 machos e 30 fêmeas, desse predador, individualizados em tubos de vidro com uma presa (larva ou pupa) de *T. molitor*, por tubo, em três repetições. O peso (mg) de larvas e pupas de *T. molitor* foi registrado, a cada 24 horas, durante sete dias. A resposta funcional do predador *P. nigrispinus* foi do tipo II para larva e pupa de *T. molitor*, com diminuição no consumo em relação ao aumento do número dos dois tipos de presas. A taxa de ataque e o tempo de manuseio foram semelhantes para *P. nigrispinus* alimentado com larvas e pupas de *T. molitor*. O predador *P. nigrispinus* preferiu pupas ($11,17 \pm 0,4014$) que larvas ($8,833 \pm 0,4014$) de *T. molitor*. O consumo de *P. nigrispinus* foi significativo para larvas ($27,95 \pm 11,44$) e pupas ($30,49 \pm 22,71$) de *T. molitor*. A resposta funcional e o consumo de *P. nigrispinus* com larvas e pupas de *T. monitor* confirma, serem

estas fases de vida da presa adequadas para *P. nigrispinus*. Apesar da preferência do predador *P. nigrispinus* por pupas de *T. molitor*, o mesmo se alimenta de forma satisfatória de larvas dessa presa.

Palavras-chave: Controle biológico. Criação massal. Densidade. Inimigos naturais. Meio ambiente.

ABSTRACT

DOS SANTOS, Carlos Antonio Alves, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2022. **Functional response, consumption and prey preference of *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) for larvae and pupae of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae).** Adviser: José Cola Zanuncio. Co–advisers: Luis Carlos Martínez and Angelica Plata–Rueda.

Insect control alternatives that aim to protect the environment without harming human health are studied. Biological control, the use of natural enemies to suppress pests, is one of these alternatives used in integrated pest management (IPM). *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Hemiptera: Pentatomidae) is a natural enemy widely used in biological control programs in agriculture and forestry, as it adapts to different prey and temperatures, facilitating mass rearing. The quality and number of prey affect biological and reproductive parameters. The functional response is used to assess the behavior of a predator at different prey densities. The aim of this work was to evaluate the functional response, consumption and preference of *P. nigrispinus* for larvae and pupae of *Tenebrio molitor* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera: Tenebrionidae), alternative prey used in the rearing of this predator. The functional response (functional response type, attack rate and handling time) of *P. nigrispinus* was evaluated in five prey densities (1, 2, 4, 8 and 16 larvae or pupae of *T. molitor*) with ten repetitions for 72 hours. The preference of *P. nigrispinus* for the developmental stage of *T. molitor* was evaluated in a free choice test in Petri dishes, with a prey (larva and pupa) at opposite ends of the same. One hundred and twenty individuals of *P. nigrispinus* (60 per sex) were used. The choice was recorded when the predator *P. nigrispinus* inserted its stylet into the larva or pupa of *T. molitor* and remained for at least 10 minutes feeding. Prey consumption was evaluated with 30 males and 30 females of this predator, individualized in glass tubes with one prey (larva or pupa) of *T. molitor*, per tube, in three replications. The weight (mg) of *T. molitor* larvae and pupae was recorded every 24 hours for seven days. The functional response of the predator *P. nigrispinus* was of type II for larvae and pupae of *T. molitor*, with a decrease in consumption in relation to an increase in the number of both types of prey. Attack rate and handling time were similar for *P. nigrispinus* fed *T. molitor* larvae and pupae. The predator *P. nigrispinus* preferred pupae (11.17 ± 0.4014) than larvae (8.833 ± 0.4014) of *T. molitor*. The consumption of *P. nigrispinus* was significant for larvae (27.95 ± 11.44) and pupae (30.49 ± 22.71) of *T. molitor*. The functional response and consumption of *P. nigrispinus* with *T. monitor* larvae and pupae confirms that these prey life

stages are suitable for *P. nigrispinus*. Despite the preference of the predator *P. nigrispinus* for *T. molitor* pupae, it feeds satisfactorily on larvae of this prey.

Keywords: Biological control. Density. Environment. Mass rearing. Natural enemies.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Números de larvas (A) e pupas (B) de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) predadas (média e desvio padrão) por adultos (machos e fêmeas, proporção 1:1) de *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) em relação à densidade de presas oferecidas por 72 horas. 17

Figura 2. Números de larvas e pupas de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) predadas (média e desvio padrão) por adultos (machos e fêmeas, proporção 1:1) de *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae). Teste t de Student com significância de 5%..... 18

Figura 3. Peso inicial (mg) e final (mg) de larvas (A) e pupas (B) invertebradas de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) predadas por adultos (machos e fêmeas (proporção 1:1) de *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae). Teste t de Student com significância de 5%..... 19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Proporções de larvas e pupas de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae), com diferentes densidades, consumidas por adultos (machos e fêmeas, proporção 1:1) de *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) estimadas por máxima verossimilhança a partir de regressões logísticas. Temperatura 27 ± 2 °C , umidade relativa $75 \pm 5\%$ e fotoperíodo 12:12.....16

Tabela 2. Taxa de ataque (α) e tempo de manuseio (T_h) (média e desvio padrão- DP) e intervalo de confiança (IC à 95%) para adultos (machos e fêmeas, proporção 1:1) de *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) alimentado com larvas ou pupas (presas) de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae)..... 17

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	13
2.MATERIAL E MÉTODOS.....	14
2.1 Insetos	14
2.2 Resposta funcional.....	15
2.3 Preferência	15
2.4 Consumo	15
2.5 Estatística.....	15
3.RESULTADOS	16
3.1 Resposta funcional.....	16
3.2 Preferência	18
3.3 Consumo	18
4.DISSCUSSÃO.....	19
5.CONCLUSÃO.....	21
REFERÊNCIAS	21

1.INTRODUÇÃO

O controle biológico contribui na redução do uso de produtos químicos para supressão de pragas e do impacto à saúde humana e ao meio ambiente (Böcker et al., 2019). Esse controle consiste na regulação de populações de insetos–pragas por inimigos naturais (Gontijo, 2019), como percevejos Asopinae (Hemiptera: Pentatomidae) (Reis et al., 2018), que predam, principalmente, indivíduos das ordens Coleoptera, Diptera, Hemiptera e Lepidoptera (Zanuncio et al., 2004; Castro et al., 2015).

Espécies de Asopinae do gênero *Podisus* são generalistas (Bottega et al., 2017), sendo *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Hemiptera: Pentatomidae), o predador mais utilizado no controle biológico de pragas na agricultura e silvicultura no Brasil (Brügger et al., 2019; dos Santos Júnior et al., 2020). O hábito zoofitófago, quando um carnívoro, eventualmente, se alimenta de plantas (Martínez et al., 2018) para extrair água e nutrientes complementares a sua dieta, facilita a permanência desse predador em campo (Lira et al., 2019).

A digestão extra oral, por insetos predadores, para absorção de nutrientes das presas (Cantón e Bonning, 2020), permite que insetos menores se alimentem dos maiores (Carvalho et al., 2020). O predador utiliza toxinas, como as enzimas digestivas produzidas nas glândulas salivares de *P. nigrispinus* e liberadas no corpo da presa durante a digestão extra oral (Fialho et al., 2012), para quebrar componentes de sua dieta (Martínez et al. 2016). Essa estratégia permite que o predador *P. nigrispinus* se alimente de presas em diferentes fases de desenvolvimento como lagartas e pupas de *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Plutellidae) (Pelúzio et al., 2018).

Parâmetros biológicos e reprodutivos do predador *P nigrispinus* variam com a qualidade e o número de presas para esse predador (Peluzio et al., 2018). A resposta funcional (relação entre predador e densidade de presa), é importante para avaliar o impacto do mesmo em populações de presas (Madadi et al., 2011; Lam et al., 2021) baseado na capacidade predatória em diferentes espécies e estágios das mesmas (Malaquias et al., 2015; Barbosa et al., 2019). As equações de disco (Holling, 1959) ou suas variações, cujos principais parâmetros são a taxa de ataque (α) e o tempo de manuseio de presa (T_h) dos predadores, são os modelos mais utilizados para avaliações de resposta funcional (Daugaard et al., 2018). Os tipos de curvas da resposta funcional dependem do predador, presa e ambiente podendo ser aumento linear (tipo I), desaceleração (tipo II) ou uma relação sigmoide (tipo III) (Jumbo et al., 2019). O tipo I é rara por considerar a mortalidade por predador independente da densidade das presas, assumindo o consumo constante das mesmas (Dunn e Hovel, 2020).

Podisus nigrispinus tem sido criado, em laboratório, com presas naturais, alternativas ou dietas artificiais (Torres et al., 2006), mas com resultados menos satisfatórios com essas últimas (de Bortoli et al., 2011). *Tenebrio molitor*, com alto teor de proteínas, perfil balanceado de aminoácido, se alimenta de subprodutos orgânicos e disponibilidade de tecnologia para produção em massa (Liu et al., 2020), é, amplamente, utilizado na criação de insetos inimigos naturais (Pelúzio et al., 2018; Zanuncio et al., 2018).

O desenvolvimento e reprodução de *P. nigrispinus* são satisfatórios quando esse predador se alimenta de pupas de *T. molitor*, portanto, essa fase de vida é a mais utilizada na criação massal desse predador (Zanuncio et al., 2001). No entanto, larvas de *T. molitor* têm 20 instares, com formação pupal acontecendo em média entre o instar 15 e 17 (Park et al., 2014). Em altas densidades de larvas de *T. molitor*, situação inerente na produção desse inseto, é comum de acontecer canibalismo e transformações incompletas de lava-pupa e pupa-adulto (Weaver e McFarlane, 1990; Deruytter et al., 2018). Com isso, é importante investigar como o predador *P. nigrispinus* se comporta mediante ao oferecimento de larvas de *T. molitor*, para uso alternativo em baixa produção de pupas dessa presa. O objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta funcional, consumo e preferência de *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) por larvas e pupas de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae), presa alternativa utilizada na criação desse predador.

2.MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Insetos

Larvas e pupas de *T. molitor* e o predador *P. nigrispinus* foram obtidos da criação massal do Laboratório de Controle Biológico de Insetos (LCBI) do Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária (BIOAGRO) da Universidade Federal de Viçosa (Viçosa, Minas Gerais, Brasil). Larvas de *T. molitor* foram alimentadas *ad libitum* com farelo de trigo e receberam pedaços de *Brassica oleracea* (L.), *Daucus carota* subsp. *sativus*, *Sechium edule* (Sw.) e *Saccharum officinarum* (L.), como fonte de água e nutrientes até o estágio pupal. Pupas de *T. molitor* foram mantidas à 25 ± 1 °C, $70 \pm 10\%$ de umidade relativa e 12:12 h de fotoperíodo em bandeijas plásticas (60 × 40 × 12 cm).

Podisus nigrispinus foi alimentado com pupas de *T. molitor*, folhas de *Psidium guajava* (L.) e água *ad libitum*. Esses predador foi mantido à 27 ± 2 °C, $75 \pm 5\%$ de umidade relativa e 12:12 h de fotoperíodo em gaiolas de madeira (30 × 30 × 30 cm) com paredes revestidas com

nylon e vidro. Adultos de *P. nigrispinus*, com 24 horas de idade, e larvas e pupas de *T. molitor* foram utilizados nos experimentos.

2.2 Resposta funcional

Adultos de *P. nigrispinus* (machos e fêmeas, proporção 1:1) foram individualizados em pote plástico transparente (10,5 cm × 5,9 cm). Larvas ou pupas de *T. molitor* foram oferecidas nas densidades de 1, 2, 4, 8 e 16 por pote com uma folha de *P. guajava* e algodão umedecido em água. Cada densidade de presa teve dez repetições e as presas mortas registradas, a cada 24h, por 72 h.

2.3 Preferência

A preferência de *P. nigrispinus*, por larvas ou pupas de *T. molitor*, foi determinada em testes de livre escolha. Arenas experimentais foram preparadas em placas de Petri (90 × 15 mm) com uma pupa e uma larva de *T. molitor* em lados opostos. Indivíduos de *P. nigrispinus* ficaram 24 horas sem alimento e, após esse período, foram colocados no centro da arena para se alimentarem de uma das duas fases da presa. A permanência mínima para registrar a preferência foi de 10 minutos, a partir do momento que o predador inseria o estilete em uma das presas. Cento e vinte adultos de *P. nigrispinus* (60 por sexo) foram utilizados.

2.4 Consumo

Um macho e uma fêmeas de *P. nigrispinus* foram colocados, individualmente, em tubo de vidro (2 × 15 cm) por 24 h sem alimento. Após esse período, uma larva ou uma pupa de *T. molitor* foi colocada por tubo e retiradas e pesadas (mg) em balança analítica ATX 224 (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão), a cada 24 horas, durante sete dias. O consumo de presa foi avaliado com o peso inicial (tempo 0 antes de fornecidas aos predadores) e o final (após sete dias) das presas (larvas e pupas). Sessenta indivíduos de *P. nigrispinus* (30 por sexo) foram utilizados em três repetições.

2.5 Estatística

O tipo de resposta funcional (II ou III) foi determinado por análise de regressão logística do número de larvas ou pupas de *T. molitor* predadas, nas densidades originais de presas usando procedimento CATMOD com predação aleatória (SAS Institute, 2002). A equação aleatória foi utilizada pois as presas não foram substituídas durante o experimento (Vacari et al., 2012). O sinal do coeficiente linear (P1), estimado por regressão logística, distingue a forma da curva de resposta funcional, com valor negativo ($P1 < 0$) ou positivo ($P1 > 0$) indicando respostas dos tipos II ou III, respectivamente (Jumbo et al., 2019). A equação foi ajustada aos resultados usando ProcNLIN, depois de inserir os tipos de respostas, e os valores de taxa de ataque (α) e tempo de manuseio (T_h) estimados. A comparação dos intervalos de confiança (IC) de 95% considera diferença significativa quando os ICs não se sobrepõem.

Os resultados do teste de consumo e preferência de larvas ou pupas de *T. molitor* por *P. nigrispinus* foram comparados pelo teste t de Student com significância de 5% usando SAS para Windows v. 9.0 (SAS Institute, 2002).

3.RESULTADOS

3.1 Resposta funcional

A resposta funcional do predador *P. nigrispinus* foi do tipo II para larvas e pupas de *T. molitor* com coeficiente linear (P1) negativo, para larvas (-1.8225) e pupas (-2,8518) ($P1 < 0$). Tabela 1).

Tabela 1. Proporções de larvas e pupas de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae), em diferentes densidades, consumidas por adultos (machos e fêmeas, proporção 1:1) de *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) estimadas por máxima verossimilhança a partir de regressões logísticas. Temperatura 27 ± 2 °C , umidade relativa $75 \pm 5\%$ e fotoperíodo 12:12

Presa	Coefficientes	Estimativa	DP	X ²	P
Larva	Constante (P0)	4,3354	1,4784	8,6	0,0034
	Linear (P1)	-1,8225	0,7625	5,71	0,0168
	Quadrático (P2)	0,2013	0,106	3,61	0,0576
	Cúbico (P3)	-0,0069	0,00402	2,85	0,0913
Pupa	Constante (P0)	7,5059	3,0477	6,07	0,0138

Linear (P1)	-2,8518	1,4129	4,07	0,0436
Quadrático (P2)	0,3461	0,184	3,54	0,0600
Cúbico (P3)	-0,0125	0,00673	3,43	0,0641

As curvas de resposta funcional de *P. nigrispinus* exibem uma estabilização no consumo do predador em alta densidade de larvas e pupas *T. molitor* (Figura 1).

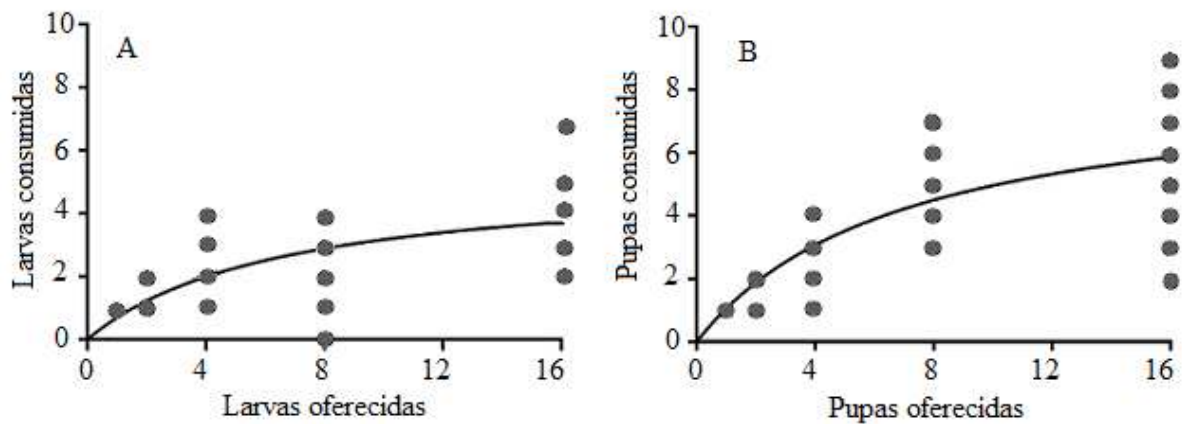


Figura 1. Números de larvas (A) e pupas (B) de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) consumidas (média e desvio padrão) por adultos (machos e fêmeas, proporção 1:1) de *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) em relação à densidade de presas oferecidas por 72 horas.

A taxa de ataque (α) e tempo de manuseio (T_h), de adultos de *P. nigrispinus* em larvas e pupas de *T. molitor* foi semelhante, com valores de $0,00029 \pm 0,0135$ e $0,00228 \pm 0,00959$ e de $5,0962 \pm 382,2$ e $11,3645 \pm 2,6392$, respectivamente ($p < 0,05$) (Tabela 2).

Tabela 2. Taxa de ataque (α) e tempo de manuseio (T_h) (média desvio padrão- DP) e intervalo de confiança (IC à 95%) para adultos (machos e fêmeas, proporção 1:1) de *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) alimentado com larvas ou pupas (presas) de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae)

Presas	α	IC a 95%		T_h	IC a 95%		R^2
	Média \pm DP	Inf.	Sup.	Média \pm DP	Inf.	Sup.	
Larva	$0,00029 \pm 0,0135a$	-0.0268	0.0274	$5,0962 \pm 382,2$ A	-764.3	774.5	0.96

Pupa	0,00228± 0,0095a	-0.0170	0.0216	11,3645 ± 2,6392 A	6.0551	16.6740	0.99
------	---------------------	---------	--------	-----------------------	--------	---------	------

*Médias por coluna seguidas de mesma letra não diferem. ICs não se sobrepondo indicam médias significativas ($p < 0,05$). Inf.= Limite inferior, Sup.= Limite Superior.

3.2 Preferência

O número de larvas ($8,833 \pm 0,4014$) de *T. molitor* predadas por *P. nigrispinus* foi menor que o de pupas ($11,172 \pm 0,4014$) dessa presa ($p < 0,001$) no teste de preferência (Figura 2).

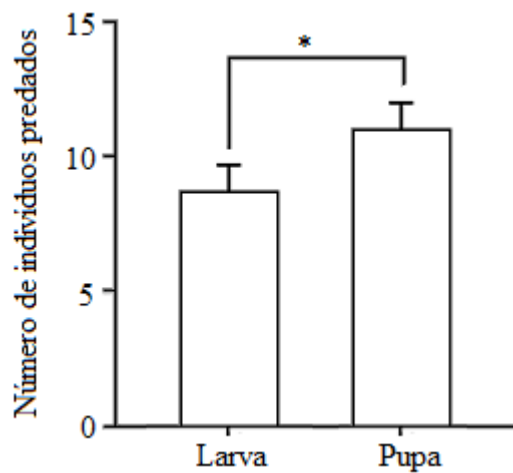


Figura 2. Números de larvas e pupas de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) predadas (média e desvio padrão) por adultos (machos e fêmeas, proporção 1:1) de *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae). Teste t de Student com significância de 5%.

3.3 Consumo

Os pesos iniciais de larvas e pupas de *T. molitor* foram, respectivamente, de $86,7 \pm 15,3$ e $129,9 \pm 27,5$ mg. O consumo do predador *P. nigrispinus* não diferiu entre presas, com $30,49 \pm 22,71$ mg e $27,95 \pm 11,44$ mg, reduzindo em 44,4% e 45,95% o peso inicial (mg) de larvas e pupas de *T. molitor*, respectivamente ($p < 0,0001$) (Figura 1).

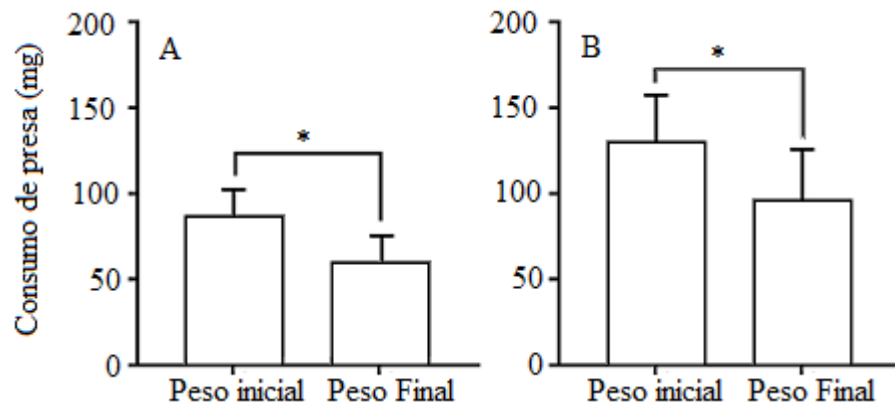


Figura 3. Peso inicial (mg) e final (mg) de larvas (A) e pupas (B) *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) predadas por adultos (machos e fêmeas (proporção 1:1) de *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae). Teste t de Student com significância de 5%.

4.DISCUSSÃO

A resposta funcional tipo II por adultos de *P. nigrispinus*, para larvas e pupas de *T. molitor* é semelhante à de fêmeas desse predador com lagartas e pupas de *P. xylostella* (Vacari et al., 2012) e lagartas de *Anticarsia gemmatalis* (Hübner, 1818) (Lepidoptera: Noctuidae) (Ferreira et al., 2008). Valores negativos, estimados para parâmetros lineares resultam em relação inversa e dependente entre as densidades iniciais e consumidas de presas pelo predador, resultando em uma resposta funcional do tipo II (Ganjisaffar e Perring, 2015). Esse tipo de resposta funcional é, amplamente, utilizado para avaliar o potencial de um predador como agente biológico, pois descreve, realisticamente, sistemas biológicos predador–presa (Ferreira et al., 2008; El-Saka et al., 2019). Entretanto, isto difere do relatado para *P. nigrispinus* com resposta funcional do tipo III para larvas de *Chrysomya putoria* (Wiedemann, 1818) (Diptera: Calliphoridae) (Botteon et al., 2017). Essa resposta funcional é devido, provavelmente, a uma eficiência de predação, aumentando a quantidade consumida até a saciedade do predador (Botteon et al., 2017), ou seja, um crescimento mais rápido do consumo de presas nas densidades intermediárias e estabilização na abundância das mesmas (Barbosa et al., 2019). Isso confirma o fato da resposta funcional de predadores variarem com a espécie da presa (Hassanpour et al., 2011).

A estabilização do consumo de *P. nigrispinus* com alta densidade de presas é semelhante ao relatado para os predadores *Amblyseius tamatavensis* Blommers (Mesostigmata: Phytoseiidae) com ovos de *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) (Barbosa et

al., 2019); *Amblyseius herbicolus* (Acari: Phytoseiidae) com *Sericothrips staphylinus* (Thysanoptera: Thripidae) (Lam et al., 2021) e *Harmonia axyridis* (Pallas, 1773) (Coleoptera: Coccinellidae) com *Acyrtosiphon pisum* (Harris, 1776) (Hemiptera: Aphididae) (Islam et al., 2021). A probabilidade do predador entrar em contato com a presa é maior, em altas densidades das mesmas (Shanker et al., 2018), reduzindo o tempo de caça e gastando maior tempo no manuseio das presas (Vacari et al., 2012; Barbosa et al., 2019). A menor taxa de consumo em densidades mais baixas de presa se deve ao fato do predador se mover por áreas maiores para encontrar a presa, reduzindo o tempo para o manuseio da mesma (Botteon et al., 2017). A taxa de consumo em relação a disponibilidade de presa aumenta até uma estabilização em densidades mais altas, momento em que o predador atinge a saciedade (Vacari et al., 2012; Shanker et al., 2018). Fatores como temperatura, tamanho da área de pesquisa e disponibilidade de outras fontes de alimento também podem afetar a resposta funcional (Daugaard et al., 2018; Uiterwaal et al., 2019). As curvas de resposta funcional do predador *Euborellia annulipes* (Lucas, 1847) (Dermaptera: Anisolabididae), em altas densidades da larvas de *P. xylostella*, exibiram redução no consumo em temperaturas de 18°C e 25°C e estabilização à 32°C (da Silva Nunes et al., 2020).

A taxa de ataque e tempo de manuseio para *P. nigrispinus* com larvas e pupas de *T. molitor* são semelhantes com o relatado para fêmeas desse predador alimentadas com lagartas e pupas de *A. argillacea* (dos Santos et al., 2016). A taxa de ataque de fêmeas desse predador foi maior e seu tempo de manuseio menor com lagartas que com pupas de *P. xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae), o que foi atribuído ao movimento das larvas (na tentativa de escapar), estimular a predação, aumentando a taxa de ataque, e o tegmento mole dessa presa reduz o tempo de manuseio, quando comparado com a pupa (Vacari et al., 2012). A taxa de ataque e, principalmente, o tempo de manuseio de percevejos predadores variam com mecanismos de defesas comportamentais, morfológicos ou fisiológicos de presas contra inimigos naturais (Torres et al., 2006; Ganjisaffar e Perring, 2015; dos Santos et al., 2016).

A menor preferência por larvas que pupas de *T. molitor* por *P. nigrispinus* difere do relatado para a preferência desse predador por lagartas de *P. xylostella* (Vacari et al., 2012) e de *A. argillacea* que por pupas dessas presas (dos Santos et al., 2016). Diferenças entre resultados podem ser explicados pelo comportamento defensivo de escape de larvas de *T. molitor* representarem uma barreira física e dificultarem seu consumo e digestão com maior custo energético na predação (Hassanpour et al., 2011). *Podisus nigrispinus* prefere presas com movimento lento e tegmento mole (de Bortoli et al., 2016). Os movimentos defensivos de

larvas e pupas podem atrair ou deter predadores aumentando ou não o sucesso da predação (Zanuncio et al., 2008; de Souza Tavares et al., 2017; da Silva Nunes et al., 2018).

O consumo semelhante de larvas e pupas de *T. molitor* confirma a eficiência do predador *P. nigrispinus* em se alimentar de ambas as fases de vida dessa presa. Isso pode ser explicado pela injeção de enzimas e outras substâncias de sua saliva no corpo da presa por predadores Pentatomidae causando paralisia rápida e morte, facilitando a ingestão do conteúdo corporal dessas presas (Martinez et al., 2016). O valor nutricional de larvas e pupas de *T. molitor* é alto (Rumbos et al, 2020) e o consumo reforça a possibilidade do uso desses estágios dessa presa na criação desse inimigo natural. Pupas de *T. molitor* são utilizadas como presa alternativa na criação de *P. nigrispinus* (Zanuncio et al., 2018) e de outros predadores Asopinae como *Podisus distinctus* (Stal, 1860) (Tavares et al., 2017) e *Podisus maculiventris* (Say, 1832) (Resende–Silva et al., 2020). Além disso, larvas dessa presa são utilizadas na criação de *Sycanus collaris* (F) (Hemiptera: Reduviidae) (Poopat e Maneerat, 2021).

5.CONCLUSÃO

A resposta funcional do tipo II e consumo de *P. nigrispinus* de larvas e pupas de *T. monitor* confirma o fato dessas fases de vida dessa presa serem utilizáveis na criação massal desse predador. O predador *P. nigrispinus* preferiu pupas à larvas de *T. molitor* e o uso daquelas devem ser mantido na criação massal desse predador. No entanto, o predador *P. nigrispinus* se alimenta, satisfatoriamente, de ambas fases de vida de *T. molitor*.

REFERÊNCIAS

- Barbosa, M.F., Poletti, M., Poletti, EC. Functional response of *Amblyseius tamatavensis* Blommers (Mesostigmata: Phytoseiidae) to eggs of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) on five host plants. *Biological Control* 138: 104030, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104030>
- Böcker, T., Möhring, N., Finger, R. Herbicide free agriculture? A bio–economic modelling application to Swiss wheat production. *Agricultural Systems* 173: 378–392, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.001>
- Bottega, D.B., de Souza, B.H.S., Rodrigues, N.E.L., Eduardo, W.I., Barbosa, J.C., Júnior, A.L.B. Resistant and susceptible tomato genotypes have direct and indirect effects

- on *Podisus nigrispinus* preying on *Tuta absoluta* larvae. *Biological Control* 106: 27–34, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.12.006>
- Botteon, V. W., Neves, J. A., Godoy, W.A.C. Functional response and matrix population model of *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Hemiptera: Pentatomidae) fed on *Chrysomya putoria* (Wiedemann, 1818) (Diptera: Calliphoridae) as alternative prey. *Neotropical Entomology* 46(2), 137–143, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13744-016-0440-8>
- Brügger, B.P., Martínez, L.C., Plata–Rueda, A., e Castro, B.M.D.C., Soares, M.A., Wilcken, C.F., Carvalho, A.G., Serrão, J.E., Zanuncio, J.C. Bioactivity of the *Cymbopogon citratus* (Poaceae) essential oil and its terpenoid constituents on the predatory bug, *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). *Scientific Reports* 9: 8358, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44709-y>
- Cantón, P.E., Bonning, B.C. Extra oral digestion: outsourcing the role of the hemipteran midgut. *Current Opinion in Insect Science* 41: 86–91, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2020.07.006>
- Carvalho, J.R., Pratisoli, D., De Araujo Junior, L.M., Damascena, A.P., Holtz, A.M., Dalvi, L.P., Vianna, U.R. Predation behavior of *Podisus nigrispinus* on *Spodoptera eridania*. *Journal of Asia–Pacific Entomology* 23(4): 1279–1282, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2020.10.007>
- Castro, A.A., Poderoso, J.C.M., Ribeiro, R.C., Legaspi, J.C., Serrão, J.E., Zanuncio, J.C. Demographic parameters of the insecticide–exposed predator *Podisus nigrispinus*: implications for IPM. *BioControl* 60(2): 231–239, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10526-014-9639-y>
- da Silva Nunes, G., Dantas, T.A.V., Figueiredo, W.R.S., de Souza, M.D.S., do Nascimento, I. N., De Luna Batista, J. (2018). Predation of diamondback moth larvae and pupae by *Euborellia annulipes*. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 13(3): 1–8, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v13i3a5557>
- da Silva Nunes, G., Truzi, C.C., Cardoso, C.P., Vieira, N.F., Ramalho, D.G., de Souza, J.M., De Bortoli, S.A. Temperature–dependent functional response of *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae) preying on *Plutella xylostella*

(Lepidoptera: Plutellidae) larvae. *Journal of Thermal Biology* 93: 102686, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102686>

- Daugaard, U., Petchey, O.L., Pennekamp, F. Warming can destabilize predator–prey interactions by shifting the functional response from type III to type II. *Journal of Animal Ecology* 88(10): 1575–1586, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13053>
- de Bortoli, S.A., Otuka, A.K., Vacari, A.M., Martins, M.I., Volpe, H.X. Comparative biology and production costs of *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) when fed different types of prey. *Biological Control* 58(2): 127–132, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.04.011>
- de Bortoli, S.A., Vacari, A.M., Laurentis, V.L., De Bortoli, C.P., Santos, R.F., Otuka, A.K. 2016. Selection of prey to improve biological parameters of the predator *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Heteroptera: Pentatomidae) in laboratory conditions. *Brazilian Journal of Biology* 76 (2): 307– 314, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.12914>
- de Souza Tavares, W., da Silva, I.M., Legaspi, J.C., Serrão, J.E., Zanuncio, J.C. *Podisus distinctus* (Heteroptera: Pentatomidae) females are lighter feeding on *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) Pupae subjected to ventral nerve cord transection. *Entomologica Americana* 123(1–4): 35–41, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1664/1947-5144-123.1-4.35>
- dos Santos Junior, V.C., Martínez, L.C., Plata–Rueda, A., Fernandes, F.L., de Souza Tavares, W., Zanuncio, J.C., Serrão, J.E. Histopathological and cytotoxic changes induced by spinosad on midgut cells of the non–target predator *Podisus nigrispinus* Dallas (Heteroptera: Pentatomidae). *Chemosphere* 238: 124585, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124585>
- dos Santos, B.D.B., Ramalho, F.S., Malaquias, J.B., Lira, A.C., Pachú, J.K., Fernandes, F.S., Zanuncio, J.C. How predation by *Podisus nigrispinus* is influenced by developmental stage and density of its prey *Alabama argillacea*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 158(2): 142–151, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/eea.12396>

- Dunn, R.P., Hovel, K.A. Predator type influences the frequency of functional responses to prey in marine habitats. *Biology Letters* 16(1): 20190758, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsbl.2019.0758>
- El-Saka, H.A.A., Lee, S., Jang, B. Dynamic analysis of fractional-order predator-prey biological economic system with Holling type II functional response. *Nonlinear Dynamics* 96(1): 407–416, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11071-019-04796-y>
- Ferreira, J.A., Zanuncio, J.C., Torres, J.B., Molina-Rugama, A.J. Predatory behaviour of *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae) on different densities of *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *Biocontrol Science and Technology* 18(7): 711–719, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1080/09583150802271220>
- Fialho, M.C., Moreira, N.R., Zanuncio, J.C., Ribeiro, A.F., Terra, W.R., Serrão, J.E. Prey digestion in the midgut of the predatory bug *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae). *Journal of Insect Physiology* 58(6): 850–856, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2012.03.009>
- Ganjisaffar, F., Perring, T.M. Prey stage preference and functional response of the predatory mite *Galendromus flumenis* to *Oligonychus pratensis*. *Biological Control* 82, 40–45, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.12.004>
- Gontijo, L.M. Engineering natural enemy shelters to enhance conservation biological control in field crops. *Biological Control* 130: 155–163, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.10.014>
- Hassanpour, M., Mohaghegh, J., Iranipour, S., Nouri-Ganbalani, G., Enkegaard, A. Functional response of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) to *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae): effect of prey and predator stages. *Insect Science* 18(2): 217–224, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7917.2010.01360.x>
- Holling, C. S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *The Canadian Entomologist* 91(7): 385–398, 1959. DOI: <https://doi.org/10.4039/Ent91385-7>

- Islam, Y., Shah, F.M., Rubing, X., Razaq, M., Yabo, M., Xihong, L., Zhou, X. Functional response of *Harmonia axyridis* preying on *Acyrtosiphon pisum* nymphs: the effect of temperature. *Scientific Reports* 11(1): 13565, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92954-x>
- Jumbo, L.O.V., Teodoro, A.V., Rêgo, A.S., Haddi, K., Galvão, AS., De Oliveira, E.E. The lacewing *Ceraeochrysa caligata* as a potential biological agent for controlling the red palm mite *Raoiella indica*. *PeerJ* 7: e7123, 2019. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.7123>
- Lam, W., Paynter, Q., Zhang, Z.Q. Functional response of *Amblyseius herbicolus* (Acari: Phytoseiidae) on *Sericothrips staphylinus* (Thysanoptera: Thripidae), an ineffective biocontrol agent of gorse. *Biological Control* 152: 104468, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104468>
- Lira, A.C., Teixeira, V.W., Dutra, K.A., Cunha, F.M., Souza, L.M., Teixeira, Á.A. Impact of zoophytophagy on chemical content of *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) fed on lepidopteran larvae and cotton leaves. *Phytoparasitica* 47(3): 301–312, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-112408-085356>
- Liu, C., Masri, J., Perez, V., Maya, C., Zhao, J. Growth performance and nutrient composition of mealworms (*Tenebrio molitor*) fed on fresh plant materials–supplemented diets. *Foods* 9(2): 151, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9020151>
- Madadi, H., Parizi, E.M., Allahyari, H., Enkegaard, A. Assessment of the biological control capability of *Hippodamia variegata* (Col.: Coccinellidae) using functional response experiments. *Journal of Pest Science* 84(4): 447–455, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10340-011-0387-9>
- Malaquias, J.B., Omoto, C., Ramalho, F.D.S., Wesley, W.A.C., Silveira, R.F. Bt cotton and the predator *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) in the management of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to lambda-cyhalothrin. *Journal of Pest Science* 88(1): 57–63, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10340-014-0585-3>
- Martínez, L.C., Fialho, M.D.C.Q., Barbosa, L.C.A., Oliveira, L.L., Zanuncio, J.C., Serrão, J.E. Stink bug predator kills prey with salivary non–proteinaceous compounds. *Insect*

- Biochemistry and Molecular Biology 68: 71–78, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2015.11.006>
- Martínez, L.C., Plata–Rueda, A., da Silva Neves, G., Gonçalves, W.G., Zanuncio, J.C., Bozdoğan, H., Serrão, J.E. Permethrin induces histological and cytological changes in the midgut of the predatory bug, *Podisus nigrispinus*. *Chemosphere*, 212: 629–637, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.08.134>
- Park, J. B., Choi, W.H., Kim, S.H., Jin, H.J., Han, Y.S., Lee, Y.S., Kim, N.J. Developmental characteristics of *Tenebrio molitor* larvae (Coleoptera: Tenebrionidae) in different instars. *International Journal of Industrial Entomology* 28(1): 5-9, 2014. DOI: <https://doi.org/10.7852/ijie.2014.28.1.5>
- Peluzio, R.J.E., e Castro, B.M.D.C., Brügger, B.P., Plata–Rueda, A., Fernandes, F.L., Santos, R.H.S., Wilcken, C.F., Zanuncio, J.C. Does diet of prey affect life table parameters of the predator *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae)?. *Florida Entomologist* 101(1): 40–43, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1653/024.101.0108>
- Poopat, P., Maneerat, T. Prey preference and predation efficacy of *Sycanus collaris* (F.) (Hemiptera: Reduviidae) on *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Khon Kaen Agriculture Journal* 49(4): 1047–1058. DOI: 10.14456/kaj.2021.93
- Reis, T.C., Soares, M.A., Santos, J.B., Santos, C.A., Serrao, J.E., Zanuncio, J.C., Ferreira, E.A. Atrazine and nicosulfuron affect the reproductive fitness of the predator *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae). *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 90(4): 3625–3633, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170748>
- Resende–Silva, G.A., Joseph, D.A., Guedes, R.N.C., Cutler, G.C. Impact of imidacloprid soil drenching on survival, longevity, and reproduction of the zoophytophagous predator *Podisus maculiventris* (Hemiptera: Pentatomidae: Asopinae). *Journal of Economic Entomology* 113(1): 108–114, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/toz283>
- Rumbos, C.I., Karapanagiotidis, I.T., Mente, E., Psoufakis, P., Athanassiou, C.G. Evaluation of various commodities for the development of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor*. *Scientific Reports* 10: 11224, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67363-1>

- SAS Institute, 2002. The SAS System for Windows. SAS Institute, Cary. N.C release 9.0.
<http://www.sas.com>.
- Shanker, C., Sapna, P., Shabbir, K., Sunil, V., Rani, B.J., Katti, G. Biology and functional Response of *Andrallus spinidens* (F) to the rice army worm *Spodoptera mauritia* (Boisduval). *Journal of Biological Control* 31(4): 201–204, 2018. DOI: <https://doi.org/10.18311/jbc/2017/16279>
- Torres, J.B., Zanuncio, J.C., Moura, M.A. The predatory stinkbug *Podisus nigrispinus*: Biology, ecology and augmentative releases for lepidoperan larval control in Eucalyptus in Brazil. *Biocontrol News and Information* 27(15): 1–18, 2006. DOI: 10.1079/PAVSNNR20061015
- Uiterwaal, S.F., Dell, A.I., DeLong, J.P. Arena size modulates functional responses via behavioral mechanisms. *Behavioral Ecology* 30(2): 483–489, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1093/beheco/ary188>
- Vacari, A.M., De Bortoli, S.A., Torres, J.B. Relationship between predation by *Podisus nigrispinus* and developmental phase and density of its prey, *Plutella xylostella*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 145(1): 30–37, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2012.01310.x>
- Weaver, D.K., McFarlane, J.E. The effect of larval density on growth and development of *Tenebrio molitor*. *Journal of Insect Physiology* 36(7): 531-536, 1990. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(90\)90105-O](https://doi.org/10.1016/0022-1910(90)90105-O)
- Zanuncio, J.C., Lacerda, M.C., Alcántara–de la Cruz, R., Brügger, B.P., Pereira, A.I., Wilcken, C.F., Serrão, J.E., Sedyama, C.S. Glyphosate–based herbicides toxicity on life history parameters of zoophytophagous *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 147: 245–250, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.08.055>
- Zanuncio, J.C., Lacerda, M.C., Zanuncio Júnior, J.S., Zanuncio, T.V., Silva, M.C., Espíndula, M.C. Fertility table and rate of population growth of the predator *Supputius cincticeps* (Heteroptera: Pentatomidae) on one plant of *Eucalyptus cloeziana* in the field. *Annals of Applied Biology* 144(3): 357–361, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2004.tb00351.x>

Zanuncio, J.C., Molina-Rugama, A.J., Serrao, J., Pratisoli, D. Nymphal development and reproduction of *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae) fed with combinations of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) pupae and *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) larvae. *Biocontrol Science and Technology* 11(3): 331-337, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1080/09583150120055736>

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* 51(1): 121–125, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516As>