

LETÍCIA MARTINS PARRA

**APRIMORAMENTO DA CRIAÇÃO MASSAL DE *Telenomus podisi* ASHMEAD
(HYMENOPTERA: SCELIONIDAE) PARA UTILIZAÇÃO NO MANEJO DE
PENTATOMÍDEOS-PRAGA NA CULTURA DA SOJA**

Botucatu

2023

LETÍCIA MARTINS PARRA

**APRIMORAMENTO DA CRIAÇÃO MASSAL DE *Telenomus podisi* ASHMEAD
(HYMENOPTERA: SCELIONIDAE) PARA UTILIZAÇÃO NO MANEJO DE
PENTATOMÍDEOS-PRAGA NA CULTURA DA SOJA**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus
de Botucatu para obtenção do título de
Mestre em Agronomia: Proteção de
Plantas

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Regiane Cristina
de Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. William Wyatt
Hoback

Botucatu

2023

P259a Parra, Letícia Martins
 Aprimoramento da criação massal de *Telenomus podisi*
 Ashmead (Hymenoptera: Scelionidae) para utilização no
 manejo de pentatomídeos-praga na cultura da soja / Letícia
 Martins Parra. -- Botucatu, 2023
 96 p. : il., tabs.

 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
 (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
 Orientadora: Regiane Cristina de Oliveira
 Coorientador: William Wyatt Hoback

 1. Agronomia. 2. Entomologia. 3. Controle biológico. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a
fonte”.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: APRIMORAMENTO DA CRIAÇÃO MASSAL DE *Telenomus podisi* (Ashmead, 1893) (Hymenoptera: Scelionidae) PARA UTILIZAÇÃO NO MANEJO DE PENTATOMÍDEOS-PRAGA NA CULTURA DA SOJA

AUTORA: LETICIA MARTINS PARRA

ORIENTADORA: REGIANE CRISTINA DE OLIVEIRA

COORIENTADOR: WILLIAM WYATT HOBACK

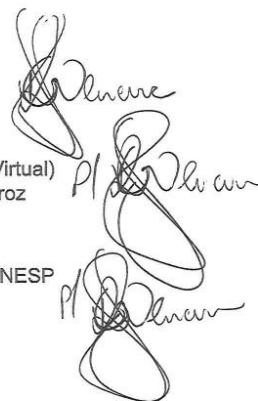
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Agronomia (Proteção de Plantas), pela Comissão Examinadora:

Prof.^a Dr.^a REGIANE CRISTINA DE OLIVEIRA (Participação Virtual)
Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrômicas UNESP

Pesquisador Dr. ALEXANDRE JOSÉ FERREIRA DINIZ (Participação Virtual)
Entomologia e Acarologia / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

Prof. Dr. CARLOS FREDERICO WILCKEN (Participação Virtual)
Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu UNESP

Botucatu, 11 de maio de 2023



À minha tia,
Marlene do Carmo Scacalossi (*in memorium*),
dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais e irmão, avós e tios pelo apoio imensurável ao longo desses anos, pela inspiração, cuidado e carinho.

À Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Câmpus de Botucatu.

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

À Prof^a. Dr^a. Regiane Cristina de Oliveira, pela orientação, paciência, inspiração e por todo aprendizado.

Ao Prof. Dr. William Wyatt Hoback, pela coorientação e todo apoio para elaboração da dissertação.

Ao Dr. José Romário de Carvalho e ao Dr. Adriano Gomes Garcia pela ajuda e execução das análises estatísticas.

Aos meus colegas e amigos, em especial Rafaela, Bárbara, Lorena e Júlia, pelos conselhos, paciência e amor.

Aos alunos e funcionários do Grupo de Pesquisa em Manejo Integrado de Pragas na Agricultura (AGRIMIP), pela amizade e ajuda na execução dos experimentos, em especial à Nadja, Daniel Mariano, Rodrigo e Pedro.

Ao Prof. Dr. Carlos Frederico Wilcken e alunos do Laboratório de Controle Biológico de Pragas Florestais pela ajuda com as análises morfométricas.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Proteção Vegetal – FCA/UNESP pelo excelente ensinamento e orientação acadêmica.

A todos da Fazenda Santa Fé e equipe das FEPE pela disponibilização das áreas para os experimentos.

A Vicente e Marcelo da MD Drones pela atenção e serviços prestados para as liberações de parasitoides em campo.

A todos que, de certa forma, contribuíram para o caminhar desta fase tão importante e especial da minha vida.

“Que valiente te ves temblando de miedo, pero arriesgándote a vivirlo”.

GUERRERO, J. 12 maneras de amar(te). México: Alcorce Ediciones, 2020.
157 p.

RESUMO

O percevejo-marrom, *Euschistus heros* (Fabricius, 1798) (Hemiptera: Pentatomidae) é uma das principais pragas da cultura da soja, podendo comprometer a qualidade dos grãos e a produtividade. Parasitoides de ovos, como *Telenomus podisi* Ashmead, 1893 (Hymenoptera: Scelionidae), são altamente eficazes no manejo de ovos de *E. heros*. A liberação massal destes insetos feita geralmente com ovos parasitados à granel, é uma estratégia de controle biológico dentro do Manejo Integrado de Pragas (MIP) que pode impedir o estabelecimento de pentatomídeos na cultura em níveis de dano econômico. Para que isso seja possível, a criação massal do parasitoide e do hospedeiro é de suma importância, bem como o estudo de diferentes parâmetros que interferem na criação. Neste trabalho, foram avaliadas a influência de diferentes dietas ofertadas a *E. heros* em parâmetros biológicos e na capacidade de parasitismo de *T. podisi* em laboratório, assim como as exigências térmicas do parasitoide, a partir de bioensaios em esquema fatorial duplo compostos por seis dietas [(1): dieta natural e ovos frescos; (2): dieta natural e ovos criopreservados; (3): dieta artificial 1 e ovos frescos; (4): dieta artificial 1 e ovos criopreservados; (5): dieta artificial 2 e ovos frescos; (6): dieta artificial 2 e ovos criopreservados] e em sete temperaturas: 15±1°C, 18±1°C, 21±1°C, 24±1°C, 27±1°C, 30±1°C e 33±1°C. Um bioensaio de campo foi realizado nas Fazendas de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) (Botucatu-SP) comparando dois diferentes métodos de liberação de *T. podisi* em soja, compondo os tratamentos: (1) 1 hectare de soja liberando-se adultos de *T. podisi* previamente alimentados com mel; (2) 1 hectare de soja liberando-se pupas à granel; (3) 1 hectare de soja sem liberação (controle). Para a alimentação prévia, gotículas de mel foram depositadas dentro das cápsulas de liberação antes da emergência dos insetos. Avaliou-se em campo também a eficácia da liberação aérea de pupas à granel de *T. podisi* em soja, realizando bioensaios na Fazenda Santa Fé (Pardinho-SP). Os tratamentos foram compostos por: (1) 50 hectares com liberação de ovos parasitados por *T. podisi* à granel; (2) 50 hectares tratados com manejo químico; (3) 15 hectares sem aplicação de produtos (biológicos ou químicos). Em ambos os bioensaios de campo, foram realizadas liberações aéreas via drone (7500 fêmeas/ha), avaliando-se a sanidade de sementes (via teste tetrazólio), densidade de insetos e parâmetros reprodutivos e produtivos da soja. Nos bioensaios laboratoriais, observou-se uma relação inversa entre temperatura e sobrevivência de fêmeas. As temperaturas de

21±1°C a 30±1°C foram benéficas aos parâmetros biológicos e na capacidade de parasitismo de *T. podisi*, bem como a utilização de dietas artificiais na criação do hospedeiro. Nas FEPE, ambos os métodos de liberação reduziram a população de ninfas e os danos causados por *E. heros* em comparação ao controle, recomendando-se a utilização do controle biológico com liberação inundativa de *T. podisi* independentemente do método de liberação. Na Fazenda Santa Fé, não foi constatada a presença de nenhum pentatomídeo-praga nas avaliações.

Palavras-chave: controle biológico; manejo integrado de pragas; percevejos; parasitoides.

ABSTRACT

The brown stink bug, *Euschistus heros* (Fabricius, 1798) (Hemiptera: Pentatomidae) is one of the main pests of soybean crop, which can compromise the quality of grains and productivity. Egg parasitoids such as *Telenomus podisi* Ashmead, 1893 (Hymenoptera: Scelionidae) are highly effective in managing *E. heros* eggs. The mass release of these insects, usually done with bulk parasitized eggs, is a biological control strategy within the Integrated Pest Management (IPM) that can prevent the establishment of pentatomids in the crop at levels of economic damage. Mass rearing of the parasitoid and host is necessary, as well as the study of different parameters that interfere with rearing. In this work, the influence of different diets offered to *E. heros* on biological parameters and on the parasitism capacity of *T. podisi* was evaluated in the laboratory, based on bioassays in a double factorial arrangement composed of six diets [(1): natural diet and fresh eggs; (2): natural diet and cryopreserved eggs; (3): artificial diet 1 and fresh eggs; (4): artificial diet 1 and cryopreserved eggs; (5): artificial diet 2 and fresh eggs; (6): artificial diet 2 and cryopreserved eggs] and at seven temperatures: 15±1°C, 18±1°C, 21±1°C, 24±1°C, 27±1°C, 30±1°C and 33±1°C. A bioassay was also carried out at the Fazendas de Ensino Pesquisa e Extensão (FEPE) (Botucatu-SP) comparing two different methods of releasing *T. podisi* in soybean, composing the treatments: (1) 1 hectare of soybean releasing *T. podisi* adults previously fed with honey; (2) 1 hectare of soybean releasing *T. podisi* pupae in bulk; (3) 1 hectare of unreleased soybeans (control). For pre-feeding, honey droplets were deposited inside the release capsules before insect emergence. The effectiveness of aerial release of bulk pupae of *T. podisi* in soybean was also evaluated in the field, performing bioassays at Fazenda Santa Fé (Pardinho-SP). The treatments consisted of: (1) 50 hectares with release of eggs parasitized by *T. podisi* in bulk; (2) 50 hectares treated with chemical management; (3) 15 hectares without application of products (biological or chemical). In both field bioassays, aerial releases were carried out via drone (7500 females/ha), evaluating seed damage (via tetrazolium test), insect density and reproductive and productive parameters of soybean. In laboratory bioassays, an inverse relationship was observed between temperature and female survival. Temperatures from 21±1°C to 30±1°C were beneficial to the biological parameters and to the parasitism capacity of *T. podisi*, as well as the use of artificial diets in the rearing of the host. In FEPE, both release

methods of *T. podisi*, regardless of the method, reduced nymphs population and damage caused by *E. heros* compared to control. At Fazenda Santa Fé no pest pentatomids were found in the evaluations.

Keywords: biological control; integrated pest management; stink bugs; parasitoids.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	17
CAPÍTULO 1 - UTILIZAÇÃO DE <i>Telenomus podisi</i> ASHMEAD (HYMENOPTERA: SCELIONIDAE) PARA MANEJO DE <i>Euschistus heros</i> (FABRICIUS) (HEMIPTERA: PENTATOMIDAE) NA CULTURA DA SOJA....	20
1.1 Cultura da soja no Brasil	21
1.2 Ocorrência de pentatomídeos-praga na cultura da soja	21
1.3 Manejo de pentatomídeos-praga na cultura da soja	22
1.4 Aspectos bioecológicos de <i>E. heros</i> e <i>T. podisi</i>	24
1.5 Criação massal de <i>E. heros</i> e <i>T. podisi</i>	25
1.6 Liberação de <i>T. podisi</i> em soja	26
1.7 Considerações finais.....	28
1.8 REFERÊNCIAS	28
CAPÍTULO 2 - OPTIMIZING MASS REARING OF THE EGG PARASITOID, <i>Telenomus podisi</i>, FOR CONTROL OF THE BROWN STINK BUG, <i>Euschistus heros</i>	36
2.1 Introduction	37
2.2 Materials and Methods.....	38
2.2.1 Rearing of <i>E. heros</i> with natural and artificial diets	38
2.2.2 Rearing of <i>T. podisi</i>	40
2.2.3 Parasitism capacity and thermal requirements of <i>T. podisi</i> in <i>E. heros</i> eggs from different diets.....	40
2.2.4 Biological parameters of <i>T. podisi</i> in <i>E. heros</i> eggs from different diets	41
2.3 Results.....	42
2.3.1 Parasitism capacity of <i>T. podisi</i> in <i>E. heros</i> eggs from different diets	42
2.3.2 Thermal requirements of <i>T. podisi</i> in <i>E. heros</i> eggs from different diets.....	48
2.3.3 Biological characteristics of <i>T. podisi</i> in <i>E. heros</i> eggs from different diets.....	51
2.4 Discussion.....	58
2.5 References.....	62
CAPÍTULO 3 - Release of pupae and adults of <i>Telenomus podisi</i> (Hymenoptera: Scelionidae) for the management of <i>Euschistus heros</i> (Hemiptera: Pentatomidae) in soybean.....	68
3.1 Introduction	69
3.2 Material and methods	70
3.2.1 Rearing of <i>E. heros</i> and <i>T. podisi</i> in the laboratory.....	70

3.2.2	Release of <i>T. podisi</i> in the field	70
3.2.3	<i>E. heros</i> field density	71
3.2.4	Soybean reproductive parameters and productivity	72
3.2.5	Statistical analysis	72
3.3	Results	73
3.3.1	<i>E. heros</i> field density	73
3.3.2	Soybean reproductive parameters and productivity	75
3.4	Discussion	77
3.5	References	78

CAPÍTULO 4 - 82 EFEITO DA LIBERAÇÃO DE *Telenomus podisi* ASHMEAD (HYMENOPTERA: SCALIONIDAE) NO MANEJO DE OVOS DE PENTATOMÍDEOS-PRAGA E NA MORFOLOGIA DE PLANTAS DE SOJA 82

4.1	INTRODUÇÃO	83
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	85
4.2.1	Obtenção dos insetos	85
4.2.2	Manutenção da criação estoque de <i>E. heros</i>	85
4.2.3	Criação estoque de <i>T. podisi</i>	86
4.2.4	Liberação de <i>T. podisi</i> em soja para o manejo de <i>E. heros</i>	86
4.2.5	Avaliações dos bioensaios de campo	87
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	88
4.4	REFERÊNCIAS	90
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
	REFERÊNCIAS	95

INTRODUÇÃO GERAL

A soja (*Glycine max* L.) é uma das principais *commodities* do Brasil, com produção de 153,5 milhões de toneladas na safra de 2022/2023 e área plantada superior a 43 milhões de hectares (CONAB, 2022). Atualmente, os principais estados produtores são: Mato Grosso, Goiás, Paraná e Rio Grande do Sul, com respectivas produções de 41,5; 17,4; 12,2 e 9,1 milhões de toneladas (CONAB, 2022). Os produtos e subprodutos, como soja em grão, farelo e óleo, são de extrema importância econômica ao Brasil, tanto para consumo interno, avaliado em 47,8 milhões de toneladas de soja em grão para processamento, quanto para exportação, estimada em 96,6 milhões de toneladas (CONAB, 2022), impulsionando o agronegócio e a economia.

Com a expansão das áreas cultivadas, proporcionada pelo aumento da demanda por alimentos, aumenta-se a necessidade de controlar as principais pragas do sistema de produção da soja, principalmente lepidópteros e hemípteros, caracterizados por lagartas e percevejos respectivamente. Esse último grupo, representado pelos pentatomídeos-praga (percevejos fitófagos), causam diversos danos diretos e indiretos, comprometendo o desempenho e produtividade da soja, sendo o percevejo-marrom, *Euschistus heros* (Fabricius, 1798) (Hemiptera: Pentatomidae), praga-chave na cultura (BUENO et al., 2015). Devido ao hábito alimentar, essas pragas podem atacar ramos e hastes, mas os maiores danos são ocasionados ao sugarem os grãos, causando má formação, grãos chochos e enrugados e, consequentemente, reduzindo a qualidade. Além disso, podem injetar toxinas, comprometendo a fenologia da planta (retenção foliar), dificultando a colheita da lavoura e causando quedas na produtividade (BOCATTI et al., 2014). A inserção do estilete nas estruturas vegetais também pode facilitar a entrada de microrganismos, como a levedura *Nematospora coryli*, capazes de necrosar tecidos no local afetado (KRZYZANOWSKI; FRANÇA-NETO; HENNING, 2018).

A utilização de inseticidas como método de controle de pragas é frequente nas lavouras de soja e, quando utilizados de forma exclusiva e sem posicionamento técnico, estes produtos podem acarretar diversos malefícios, tanto ao produtor quanto ao ambiente, como a seleção de populações resistentes de pragas, eliminação de inimigos naturais, toxicidade ao solo, alimentos e ao homem. Sendo assim, o Manejo Integrado de Pragas (MIP) é fundamental nos sistemas agrícolas, a fim de integrar diferentes táticas de manejo de forma harmoniosa, visando a sustentabilidade e

biodiversidade da área sem comprometer a produção, principalmente quando comparada ao uso exclusivo do controle químico, o qual deve ser usado respeitando-se o nível de controle das pragas e o limite de aplicações, utilizando-se produtos recomendados e registrados (MENTEN et al., 2011). O MIP da soja foi implantado no Brasil na década de 1970, tomando como base o monitoramento e identificação das principais pragas da cultura, bem como o conhecimento dos estágios de desenvolvimento da planta e dos níveis de ação para manejo, que vêm sendo difundido aos poucos entre os sojicultores (SIMONATO et al., 2014).

Como forma de interagir a sustentabilidade na lavoura com o manejo de pragas, o controle biológico aplicado, um dos pilares do MIP, baseia-se no conceito de “fenômeno natural que consiste na regulação do número de plantas e animais por inimigos naturais, os quais constituem os agentes de mortalidade biótica” (PARRA et al., 2002) e busca a utilização de macrorganismos, como coleópteros e himenópteros, ou microrganismos, como fungos e bactérias, nas lavouras para manter a densidade populacional de pragas abaixo do nível de dano econômico de cada cultura. Parasitoides de ovos, como *Telenomus podisi* Ashmead, 1893 (Hymenoptera: Scelionidae), são macrorganismos eficazes no manejo de percevejos fitófagos. Mesmo sendo generalista, *T. podisi* possui como principal hospedeiro ovos de *E. heros*, sendo utilizado em programas de controle biológico contra pentatomídeos em lavouras de soja, podendo impedir o desenvolvimento do ciclo biológico natural da praga desde a fase inicial (fase de ovo) (PAZ-NETO et al., 2015).

A liberação de *T. podisi* depende de produções em larga escala tanto do parasitoide quanto do hospedeiro (*E. heros*) e de estudos que visam o aprimoramento de técnicas de criação, como a elaboração de dietas específicas para hospedeiros, exigências térmicas e aspectos bioecológicos dos parasitoides e técnicas de liberação que auxiliem no manejo das pragas-alvo. Dietas artificiais têm papel importante na criação massal de insetos por reduzir custos e mão-de-obra (PARRA, 2001), apresentando vantagens na produção de inimigos naturais. Para facilitar a elaboração, é comum utilizar vagens liofilizadas como ingrediente das dietas artificiais na criação de *E. heros*. Porém, como o processo de liofilização pode encarecer a produção, é interessante desenvolver estudos utilizando vagens não liofilizadas e outros componentes (HAYASHIDA et al., 2018), a fim de reduzir eventuais custos e avaliar os efeitos na criação massal de *T. podisi*. Compreender as exigências térmicas dentro de uma criação massal também é um fator relevante de estudo, a fim de

proporcionar melhor desenvolvimento do parasitoide e consequente liberação no campo, visto que a temperatura é um dos fatores que mais influencia os parâmetros biológicos dos insetos (DENIS et al., 2011; FRAZER & MCGREGOR, 1992) tanto na criação massal quanto no momento de liberação, influenciando a capacidade de parasitismo, busca e dispersão dos insetos.

A liberação dos parasitoides nas lavouras ainda é uma prática recente quando comparada à aplicação de produtos químicos, sendo realizada de forma manual ou aérea, a partir de pupas do parasitoide ou na forma de adultos e podendo ser feita à granel (soltos) ou em cápsulas de proteção (PINTO & PARRA, 2021). Atualmente, devido ao crescimento da demanda por parasitoides nas áreas agrícolas, a utilização de drones vem aumentando, principalmente pela maior autonomia e praticidade nas liberações (MOSES-GONZALES & BREWER, 2021). O estudo de métodos de liberação, como a utilização de cápsulas de proteção, estágio de vida do parasitoide a ser liberado e alimentação prévia do inseto é necessário para poder aplicar da melhor maneira no campo os produtos das criações massais, visando maior eficácia e qualidade no manejo de pragas.

Com estas respostas, pode-se planejar as liberações dos parasitoides de forma mais adequada, a fim de manter as pragas abaixo do nível de dano econômico para a cultura, além de auxiliar e permitir a utilização de técnicas de manejo sustentáveis no sistema agrícola. Portanto, esse trabalho teve como principais objetivos avaliar o impacto de diferentes dietas fornecidas a *E. heros* em parâmetros biológicos de *T. podisi*, avaliar o efeito da liberação de adultos alimentados e pupas de *T. podisi* sob pentatomídeos-praga e sob parâmetros morfológicos e produtivos da soja e o efeito da liberação de pupas *T. podisi* à granel sobre os ovos de pentatomídeos-praga no sistema de produção de soja da safra 2021/2022.

CAPÍTULO 1

UTILIZAÇÃO DE *Telenomus podisi* ASHMEAD (HYMENOPTERA: SCELIONIDAE) PARA MANEJO DE *Euschistus heros* (FABRICIUS) (HEMIPTERA: PENTATOMIDAE) NA CULTURA DA SOJA

RESUMO

A soja (*Glycine max* L.) representa uma das principais culturas no Brasil, responsável por grande parte das *commodities* de exportação do país. Devido ao clima tropical, às extensas áreas de cultivo e aos sistemas intensivos de produção, a população de pragas, em especial lepidópteros e pentatomídeos é notória, havendo a necessidade de manejo. O grupo dos pentatomídeos-praga, representados por percevejos, é majoritariamente controlado por produtos químicos, os quais podem acarretar consequências negativas ao ambiente e ao homem quando utilizados sem posicionamento técnico e de forma exclusiva. Dessa forma, o Manejo Integrado de Pragas (MIP) preconiza o uso harmonioso de diferentes técnicas de manejo, como o controle biológico, que visa a utilização de inimigos naturais para redução da população de pragas nas lavouras. Parasitoides de ovos, como *Telenomus podisi* Ashmead, 1893 (Hymenoptera: Scelionidae) são eficazes no manejo de *Euschistus heros* (Fabricius, 1798) (Hemiptera: Pentatomidae), principal percevejo que ataca lavouras de soja no Brasil, capazes de reduzir a qualidade e produtividade final devido ao hábito alimentar sugador, comprometendo as vagens e grãos. No entanto, para que haja volume suficiente de parasitoides para as liberações, é necessário o desenvolvimento de uma criação massal de ambos os insetos (parasitoide e hospedeiro) em laboratórios e empresas especializadas, assim como o desenvolvimento de técnicas de liberação a campo, visando elevar o rendimento e eficácia dos parasitoides em programas de controle biológico aplicado. A utilização de forma comercial de *T. podisi* no país ainda é recente, sendo registrado em 2019. Portanto, estudos nesse âmbito são de suma importância para consolidar a utilização desse parasitoide no manejo de *E. heros*, contribuindo cada vez mais para um manejo de pragas bem-sucedido e sustentável.

Palavras-chave: controle biológico; pentatomídeos; parasitoides de ovos; manejo integrado de pragas.

ABSTRACT

Soybean (*Glycine max* L.) represents one of the main crops in Brazil, responsible for a large part of the country's export commodities. Due to the tropical climate, extensive areas of cultivation and intensive production systems, the population of pests, especially lepidopterans and pentatomids is notorious, which requires management. The group of pentatomids pests, represented by stink bugs, is mostly controlled by pesticides, which can have negative consequences for the environment and humans when used without technical positioning and exclusively. Thus, the Integrated Pest Management (IPM) indicates the harmonious use of different management techniques, such as biological control, which aims to use natural enemies to reduce the population of pests in crops. Egg parasitoids such as *Telenomus podisi* Ashmead, 1893 (Hymenoptera: Scelionidae) are effective in the management of *Euschistus heros* (Fabricius, 1798) (Hemiptera: Pentatomidae), the main stink bug that attacks soybean crops in Brazil, capable of reducing quality and the final productivity due to the sucking feeding habit, compromising the pods and grains. However, in order to have a sufficient volume of parasitoids for release, it is necessary to develop a mass rearing of both

insects (parasitoid and host) in laboratories and specialized companies, as well as the development of field release techniques, aiming to increase the performance and effectiveness of parasitoids in applied biological control programs. The commercial use of *T. podisi* in the country is still recent, being registered in 2019. Therefore, studies in this area have the importance to consolidate the use of this parasitoid in the management of *E. heros*, contributing to a successful and sustainable pest management.

Keywords: biological control; pentatomids; egg parasitoids; integrated pest management.

1.1 Cultura da soja no Brasil

A soja (*Glycine max* L.), pertencente à família das leguminosas (Fabaceae), é destaque no Brasil há anos, sendo relatada pela primeira vez em território nacional no ano de 1882 na Bahia (BLACK, 2000). De origem asiática, foi disseminada no ocidente através das grandes navegações, passando pelo estado de São Paulo e, posteriormente, pelo Rio Grande do Sul em 1914, com variedades dos Estados Unidos que se adaptaram às condições edafoclimáticas da região (BONETTI, 1981). No Brasil, inicia-se a semeadura da soja entre os meses de outubro a dezembro (BENDER, 2017) e, atualmente, o país é o principal produtor do grão, seguido pelos Estados Unidos, produzindo mais de 125 milhões de toneladas na safra 2021/2022, destinadas ao consumo interno e à exportação (CONAB, 2022). Além de fornecer grãos para o setor da agroindústria, produzindo óleo vegetal, farelo e ração animal, é utilizada no setor da indústria química, cosmética, alimentícia e na produção de biocombustível (COSTA NETO & ROSSI, 2000; FONTES, 2019), tomando cada vez mais importância no mercado. Esse crescimento é resultado de avanços científicos, como a mecanização, manejo do solo, da adubação e de pragas e doenças, fazendo com que esses números cresçam ainda mais, promovendo o avanço da cultura e também das técnicas de melhoramento genético, fornecendo cultivares estáveis e adaptáveis (tecnologia *Bt*) nas diferentes regiões produtoras, expandindo a cultura pelo território brasileiro e trazendo caracteres favoráveis à produção, como a alta produtividade de grãos (FREITAS, 2011; GAZZONI, 2018).

1.2 Ocorrência de pentatomídeos-praga na cultura da soja

A família Pentatomidae inclui insetos sugadores que, a partir da fase reprodutiva da soja (estágios de R3 a R7), podem causar danos na cultura e comprometer a produtividade, devido aos danos diretos e indiretos. Por serem insetos de hábito alimentar sugador, ao ingerirem conteúdo celular das vagens e grãos, podem causar

redução do potencial germinativo, de vigor, tamanho e massa de grãos e abortamento (danos diretos) (CORRÊA-FERREIRA & AZEVEDO, 2002). Além disso, no momento da picada nos grãos, podem auxiliar na transmissão de doenças fúngicas ou causar distúrbios fisiológicos, como, por exemplo, a soja louca (danos indiretos), comprometendo também a produtividade final da cultura (BUENO et al., 2015).

Na soja, as principais espécies de percevejo-praga com potencial de dano são: o percevejo-marrom, *Euschistus heros* (Fabricius, 1798); o percevejo-verde, *Nezara viridula* (Linnaeus, 1758); o percevejo-verde-pequeno, *Piezodorus guildinii* (Westwood, 1837) e o percevejo-barriga-verde, *Diceraeus melacanthus* (Dallas, 1851), todos pertencentes à ordem Hemiptera e à família Pentatomidae (BUENO et al., 2015). Com o aumento da temperatura global nas últimas décadas, o complexo de pragas-chave da soja vem se alterando. A exemplo, *N. viridula* era considerada a principal praga da cultura, havendo posteriormente a migração para regiões vizinhas de clima ameno como o Uruguai (OLIVEIRA, 2021). *D. melacanthus* tem como principal alvo plântulas de milho, porém, com o advento do milho de segunda safra, tem potencial para causar danos em soja devido a ponte verde entre ambas as culturas (CORRÊA-FERREIRA & SOSA-GÓMEZ, 2017). O percevejo-marrom, *E. heros*, por ser considerado o principal percevejo praga da cultura da soja no Brasil, apresenta fase crítica no desenvolvimento e enchimento das vagens quando os grãos de soja começam a ser formados. Além disso, são capazes de atacar lavouras de milho posteriores às plantações de soja, causando danos em plantas na fase inicial de desenvolvimento, porém em menor intensidade quando comparado ao percevejo-barriga-verde (CORRÊA-FERREIRA & SOSA-GÓMEZ, 2017).

1.3 Manejo de pentatomídeos-praga na cultura da soja

O aumento da utilização de produtos químicos nas lavouras, especialmente os inseticidas, e o uso exclusivo e indiscriminado vêm causando consequências nocivas ao meio ambiente e ao homem. Além disso, são responsáveis por grande parte dos gastos na lavoura, visto que o custo total com inseticidas para produção de soja não transgênica (safra 2021/2022) foi estimado em R\$ 743,00 por hectare no estado de Mato Grosso (IMEA, 2022). Assim, a utilização dos pilares do Manejo Integrado de Pragas (MIP), dos quais fazem parte além do controle químico, o cultural, biológico, comportamental, genético e varietal são de suma importância na agricultura, visto que, na essência, o MIP é um conjunto de medidas que visa manter a população de pragas abaixo do nível de dano econômico (KOGAN, 1998), levando em consideração

não somente os parâmetros econômicos, mas também o ambiental e social. O MIP possui como base as condições ambientais do agroecossistema, os níveis de controle de cada praga, técnicas de monitoramento e o conhecimento de taxonomia, biologia e ecologia dos organismos. Além disso, sabe-se que a implementação do MIP pode reduzir em cerca de 50% as aplicações de agroquímicos, preservando a biodiversidade da lavoura sem comprometer a produção agrícola (BUENO et al., 2020; EMBRAPA, 2015).

O manejo integrado de pragas da soja surgiu no Brasil em 1970, baseando-se no nível de controle das pragas em campo, na correta identificação de pragas e inimigos naturais e no conhecimento da fase de desenvolvimento da planta, obtidos através de práticas de monitoramento e permitindo uma correta tomada de decisão (HOFFMANN-CAMPO et al., 2000). Como a ocorrência de pentatomídeos-praga no sistema atual de produção é elevada, principalmente devido à adoção do plantio direto, da sucessão de culturas, do clima tropical e do uso frequente de inseticidas de amplo espectro (organofosforados e neonicotinoides) de forma preventiva e exclusiva, causando ressurgimento e resistência de pragas e eliminação de inimigos naturais, o MIP se torna essencial (CORRÊA-FERREIRA et al., 2013; TUELHER et al., 2018). Como as tomadas de decisão das ferramentas do MIP são baseadas no nível populacional da praga, recomenda-se iniciar o manejo em soja quando um ou dois percevejos por metro de fileira em campos de sementes e grãos, respectivamente, são observados (BUENO et al., 2015).

A utilização do controle biológico com macrorganismos, que vem crescendo a cada ano, é marcada pela criação em larga escala e liberação de inimigos naturais nas lavouras. Parasitoides, como *Telenomus podisi* Ashmead, 1893 (Hymenoptera: Scelionidae), *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) e *Trissolcus basal* (Wollaston, 1858) (Hymenoptera: Scelionidae) atuam de forma eficaz no manejo de ovos de pragas da cultura da soja, como o percevejo-marrom, *E. heros*, percevejo-verde, *N. viridula*, e de *Anticarsia gemmatilis* Hübner, 1818 (Lepidoptera: Erebidae) (lagarta-da-soja), podendo provocar de 70 a 90% de mortalidade de ovos dos insetos praga (BUENO et al., 2022). A eficácia do controle de *E. heros* a partir de *T. podisi* comprova que a liberação inoculativa periódica dos parasitoides gera um aumento na população destes, favorecendo o controle do percevejo durante a mesma estação e reduzindo sua população por várias gerações (GODOY; ÁVILA; ARCE, 2007).

1.4 Aspectos bioecológicos de *E. heros* e *T. podisi*

Os adultos do percevejo-marrom, *E. heros*, possuem cerca de 11 mm de comprimento, coloração marrom, com uma meia lua amarela no escutelo e com dois espinhos pontiagudos na lateral do protórax (GALLO et al., 2002). O dimorfismo sexual é identificado a partir do último segmento abdominal dos insetos, sendo que fêmeas de *E. heros* possuem dois “espinhos” em cada lado do final do abdômen e os machos possuem apenas um “espinho” em cada lado. São nativos da Região Neotropical, sendo bem adaptados a climas quentes e observados em maior frequência no Centro Oeste brasileiro (DEGRANDE & VIVAN, 2002). Os ovos são amarelados e as posturas são agrupadas, contendo de 5 a 7 ovos cada (GALLO et al., 2002). Em dieta natural, alimentando-se de vagens de soja, o período de desenvolvimento de ovo a adulto é, em média, de 34 dias a 24°C (VILLAS-BÔAS & PANIZZI, 1980), sendo de cinco a sete dias o período de ovo até eclosão das ninfas e 29 dias até o ultimo instar (DEGRANDE & VIVAN, 2002). As ninfas recém-eclodidas são avermelhadas e iniciam a alimentação somente a partir do segundo instar. Quando atingem terceiro instar, iniciam a dispersão no ambiente, sendo capazes de sugar os grãos das plantas hospedeiras. Em média, os adultos possuem longevidade de 116 dias, porém tem capacidade de sobreviverem mais de 300 dias (PACHECO & CORRÊA-FERREIRA, 2000; PANIZZI, 2015). Devido ao habito alimentar de sugador, seus danos diretos provocam o enrugamento dos grãos durante a fase de enchimento, além de provocar retenção foliar e facilitar a entrada de patógenos na planta, favorecendo perdas de produtividade e causando danos antes e depois da colheita (MOREIRA et al., 2012).

O parasitoide de ovos *T. podisi* possui cerca de 1 mm de comprimento, com coloração preta, se alimentando de néctar ou mel (BUENO et al., 2012; PACHECO & CORRÊA-FERREIRA, 2000) em ambientes naturais e criação massal respectivamente. Como é adaptado a diferentes condições climáticas, pode estar distribuído na região Centro Oeste do Brasil até a região Sul (MOREIRA & BECKER 1986; SILVA, 2017). O dimorfismo sexual de *T. podisi* é identificado a partir das antenas, sendo que as fêmeas possuem antenas clavadas e os machos antenas filiformes (JOHNSON, 1984). Como são parasitoides de ovos, o desenvolvimento é completado dentro do ovo de hospedeiros, compreendendo as famílias Pentatomidae, Scutelleridae e Coreidae (MARGARÍA et al., 2009), saindo apenas na emergência dos adultos (BUENO et al., 2012). Possui, em média, um ciclo de 10 a 14

dias a temperaturas de 25°C a 32°C (TORRES; ZANUNCIO; MOURA, 2006). O parasitismo é realizado pelas fêmeas ao encontrarem uma massa de ovos dos hospedeiros, fazendo uma marcação através do ovipositor no córion do ovo a ser parasitado para evitar superparasitismo (BUENO et al., 2012). O desenvolvimento de *T. podisi* pode ser observado quando os ovos parasitados mudam de coloração, geralmente tornando-se escuros (coloração preta) e a sobrevivência pode se estender de 3 a 54 dias em condições laboratoriais, o que varia conforme a exposição aos ovos dos hospedeiros e fatores alimentares (BUENO et al., 2012), sendo observada uma fecundidade média de 104 ovos nos primeiros dias de oviposição em ovos de *E. heros* a 25°C (SILVA et al., 2018b).

A preferência por determinados hospedeiros pode estar relacionada com a predominância de uma determinada espécie na região. Por exemplo, em cultivos de soja em regiões tropicais, *T. podisi* apresenta preferência por *E. heros*, provavelmente devido à mudança de *status* de pragas-chave ocasionada pelo aquecimento global (OLIVEIRA, 2021; PACHECO & CORRÊA-FERREIRA, 2000).

1.5 Criação massal de *E. heros* e *T. podisi*

Para a implementação de programas de MIP, a criação massal de parasitoides e de hospedeiros (alternativos ou naturais) é necessária, obtendo-se um volume de criação suficiente para as liberações em campo, além de permitir a continuidade de pesquisas com os insetos em criação (PARRA, 2000). Sendo assim, otimizar a produção massal destes insetos é um dos grandes desafios encontrados no âmbito do controle biológico. O fornecimento adequado de alimento, principalmente aos hospedeiros, auxilia na adaptação da espécie em laboratório e em criações massais (SIMPSON et al., 2004) levando, conseqüentemente, ao sucesso da produção. Uma dieta adequada nutricionalmente ao inseto proporciona maior potencial reprodutivo (PANIZZI & SLANSKY, 1985), visto que a nutrição está diretamente relacionada com as fases de desenvolvimento, capacidade reprodutiva, viabilidade e mortalidade (KESTER & SMITH, 1984).

Atualmente, a criação de *E. heros* em laboratório pode ser realizada com dietas naturais, compostas geralmente por vagens verdes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e grãos de amendoim (*Arachis hypogaea* L.), ou com dietas artificiais contendo diversos ingredientes (vagens, grãos, sementes e sacarose, por exemplo). As dietas naturais exigem maior manutenção e custo com mão-de-obra por necessitarem da espécie vegetal como fonte de alimento. As dietas artificiais apresentam menor

necessidade de mão-de-obra e permitem a quantificação das exigências nutricionais dos insetos, podendo ser mais vantajosa em grandes escalas de produção (PARRA, 2001; ROSSETO, 1980).

A substituição de dietas naturais (vagens e amendoim) pelas artificiais, compostas por vagens verdes de feijão liofilizadas e moídas com amendoim triturado, anticontaminantes e outros ingredientes é recente e vem sendo proposta principalmente por não impactar o parasitismo de *T. podisi* e por auxiliar o processo de criações em larga escala (MENDOZA; ROCHA; PARRA, 2016). Dietas artificiais para a criação de *E. heros* sem utilizar vagens liofilizadas também foram testadas, reduzindo o custo de produção da dieta e sendo similar às dietas naturais utilizadas em laboratórios (HAYASHIDA et al., 2018), mas a influência deste tipo de dieta sob parâmetros biológicos do parasitoide ainda é desconhecida.

As exigências térmicas e parâmetros bioecológicos de parasitoides também são fatores importantes de avaliação, podendo influenciar na qualidade da criação massal e, conseqüentemente, no sucesso do manejo de pragas em campo. A temperatura pode afetar diretamente parâmetros de desenvolvimento de *T. podisi*, prolongando ou encurtando o ciclo, a razão sexual e a viabilidade, além de alterar a quantidade de ovos parasitados nos hospedeiros (ovos de *E. heros*) (CHAVES, 2021; TAGUTI, 2018). Além disso, devido ao curto tempo de prateleira que inimigos naturais possuem, o conhecimento do ciclo de vida dos parasitoides baseado nas exigências térmicas pode auxiliar no armazenamento desses produtos, realizando a liberação em campo nas condições ambientais mais favoráveis (temperatura, pluviosidade, ventos e população de pragas, por exemplo), contribuindo para o sucesso do manejo (OLIVEIRA, 2021; SILVA et al., 2018a). Parâmetros biológicos dentro de criações massais, como viabilidade, razão sexual, parasitismo e tempo de desenvolvimento, são refletidos no campo, principalmente na busca pelo hospedeiro e pela capacidade de distribuição do inseto no ambiente agrícola (PINTO & PARRA, 2021), enfatizando a importância de estudos no âmbito do controle de qualidade para programas de controle biológico com parasitoides.

1.6 Liberação de *T. podisi* em soja

A liberação de parasitoides em campo depende de inúmeros fatores, como a arquitetura e estágio fenológico das plantas, condições meteorológicas, a fase de desenvolvimento do parasitoide e o momento de liberação, quantidade e frequência liberada e técnicas de distribuição pela área (PINTO & PARRA, 2021). Apesar de *E.*

heros causar danos mais severos na fase reprodutiva da soja, é na fase vegetativa que os primeiros indivíduos chegam na lavoura, sendo de suma importância realizar nessa fase as primeiras amostragens com pano-de-batida ou armadilhas com feromônios, averiguando a densidade populacional da praga para a tomada de decisão (BUENO et al., 2013; SILVA et al., 2014). Como um ovo parasitado por *T. podisi* leva cerca de duas semanas para dar origem a novos adultos, recomenda-se iniciar as liberações uma semana antes do florescimento, após a detecção dos indivíduos nas amostragens (OLIVEIRA, 2021).

Recentemente, o parasitoide *T. podisi* foi registrado no Brasil, tornando possível a comercialização e utilização aplicada em soja (MAPA, 2019). A dose recomendada de 6500 a 7000 parasitoides por hectare é suficiente para infestações de até 400 mil ovos de *E. heros* por hectare (WEBER et al., 2022). Porém, tão importante quanto a dose, a frequência de liberação deve ser levada em conta, sendo necessárias no mínimo três liberações a partir do momento de ocorrência da praga (OLIVEIRA, 2021). Liberar em maior frequência e com menos parasitoides em cada liberação demonstra ser mais eficiente devido ao sucessivo fornecimento de parasitoides no campo, sendo que a maior capacidade de parasitismo das fêmeas ocorre nos primeiros dias (BUENO et al., 2010; PACHECO & CORRÊA-FERREIRA, 1998; PRATISSOLI et al., 2004).

Em soja, a liberação de *T. podisi* pode ser realizada na fase de pupa ou de adultos, dentro de cápsulas ou soltos e desprotegidos (GRANDE et al., 2021; PINTO & PARRA, 2021). Usualmente, empresas realizam a liberação de pupas devido à facilidade de mecanização do processo, que reduz mão-de-obra e os custos operacionais envolvidos (PINTO & PARRA, 2021). Porém, essa técnica pode afetar negativamente o comportamento reprodutivo, visto que o macho emerge primeiro e procura a fêmea para cópula (JOHNSON, 1984) e, por serem imóveis na fase de pupa, a predação e exposição a condições desfavoráveis pode aumentar (LINDSTEDT; MURPHY; MAPPES, 2019). Além disso, dependendo da temperatura e pluviosidade, a forma de liberação pode mudar, observando-se maior emergência em altas temperaturas quando realizada via pupas desprotegidas e maior emergência em altas pluviosidades quando realizada em cápsulas (GRANDE et al., 2021).

As liberações podem ser realizadas manualmente (pequena escala) ou com a utilização de equipamentos aéreos, como drones, em áreas maiores. Nesse caso, os drones devem possuir lançadores adaptados e devem ser calibrados de acordo com

a dose recomendada, percorrendo a área de aplicação através das coordenadas geográficas (MAPA, 2019). Além disso, recomenda-se que esse procedimento seja realizado por pessoas treinadas e especializadas e sempre em condições ideais de campo, com temperaturas amenas, ausência de sol intenso, ventos e chuvas.

A capacidade de um parasitoide em parasitar e se dispersar pelo campo é influenciada pela disponibilidade e tipo do hospedeiro, pela temperatura e pelo suprimento alimentar (PRATISSOLI et al., 2009). Antes de parasitar ovos do hospedeiro, os parasitoides buscam primeiramente uma fonte de alimento, a fim de obter energia para buscar o hospedeiro e completar o ciclo (TAKASU & LEWIS, 1994). Além disso, a oferta de uma fonte de alimento prévia pode aumentar a longevidade do parasitoide (BLEICHER & PARRA, 1989), podendo levar, conseqüentemente, a um maior parasitismo. Atualmente, não há pesquisas que comprovem como a alimentação prévia de adultos de *T. podisi* podem afetar no parasitismo de ovos de pentatomídeos em campo.

Portanto, estudos sobre a eficácia da liberação de *T. podisi* no manejo de *E. heros*, avaliando qual método de liberação é mais recomendado, na forma de pupas ou adultos do parasitoide previamente alimentados, utilizando-se cápsulas de proteção ou não, são essenciais para que se concretizem programas de MIP cada vez mais bem-sucedidos nas lavouras, aumentando a credibilidade do controle biológico e proporcionando maior sustentabilidade na lavoura, beneficiando toda a cadeia produtiva.

1.7 Considerações finais

Por conseguinte, estudos que analisem a influência da utilização de ovos de *E. heros* criados sob dietas artificiais na criação massal de *T. podisi* são essenciais, bem como pesquisas que comparem e determinem qual(is) método(s) de liberação de *T. podisi* são mais adequado(s) visando o manejo de ovos de *E. heros* em campo para programas de controle biológico aplicado em soja, visto que, na literatura, os resultados encontrados ainda são escassos e insuficientes para conclusões sólidas nesse âmbito de estudo.

1.8 REFERÊNCIAS

BENDER, F. D. **Mudanças climáticas e seus impactos na produtividade da cultura de milho e estratégias de manejo para minimização de perdas em diferentes regiões brasileiras**. 2017. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Sistemas Agrícolas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2017. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde->

20102017-084031/publico/Fabiani_Denise_Bender_versao_revisada.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2022.

BLACK, R. J. Complexo soja: fundamentos, situação atual e perspectiva. *In*: CÂMARA, G. M. S. (ed.). **Soja: tecnologia de produção II**. Piracicaba: ESALQ, 2000. p.1- 18.

BLEICHER, E; PARRA, J. R. P. Espécies de *Trichogramma* parasitoides de *Alabama argillacea*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 24, p. 929-940, 1989.

BONETTI, L. P. Distribuição da soja no mundo. *In*: MIYASAKA, S.; MEDINA J.C. (ed.). **A soja no Brasil**, ITAL, Campinas, cap. I, 1981. p. 1-6.

BUENO, A. F.; BRAZ, E. C.; FAVETTI, B. M.; FRANÇA-NETO, J. B.; SILVA, G. V.. Release of the egg parasitoid *Telenomus podisi* to manage the Neotropical Brown Stink Bug, *Euschistus heros*, in soybean production. **Crop Protection**, v. 137, 2020. DOI: 10.1016/j.cropro.2020.105310.

BUENO, A. F.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; BIANCO, R.; ROGGIA, S. Controle de percevejos em soja e milho. **Revista Cultivar**, v. 196, p. 4-5, 2015. Disponível em: <<https://revistacultivar.com.br/artigos/controle-de-percevejos-em-soja-e-milho>>. Acesso em: 22 dez. 2022.

BUENO, A. F.; PARRA, J. R. P.; COLOMBO, F. C.; COLMENAREZ, Y. C.; NARDE, B. V. F.; PEREIRA, F. F. Manejo de pragas com parasitoides. *In*: MEYER, M. C., BUENO, A. F., MAZARO, S. M., SILVA, J. C. (ed.). **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília: Embrapa Soja, cap. 24, 2022. p. 550. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1147067/1/cap-24-Bioinsumos-na-cultura-da-soja.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2022.

BUENO, A. F.; PAULA-MORAES, S. V.; GAZZONI, D. L.; POMARI, A. F. Economic thresholds in soybean-integrated pest management: old concepts, current adoption, and adequacy. **Neotropical Entomology**, v.42, p. 439-447, 2013. DOI: 10.1007/s13744-013-0167-8. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/966904/economic-thresholds-in-soybean-integrated-pest-management-old-concepts-current-adoption-and-adequacy>>. Acesso em: 22 dez. 2022.

BUENO, A. F.; SOSA-GOMEZ, D. R.; CÔRREA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F.; BUENO, R. C. O. F. Inimigos naturais das pragas da soja. *In*: HOFFMANN-CAMPO, B.C.; CÔRREA-FERREIRA, B.S.; MOSCARDI F. (ed.). **Soja: Manejo Integrado de Insetos e outros Artrópodes-Praga**. Embrapa, Brasília, DF, 2012. p. 493-630.

BUENO, R. C. O. F.; CARNEIRO, T. R.; BUENO, A. F.; PRATISSOLI, D.; FERNANDES, O. A.; VIEIRA, S. S. Parasitism Capacity of *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera: Scelionidae) on *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) Eggs. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 53, p. 133-139, 2010. DOI: 10.1590/S1516-89132010000100017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/babt/a/Vn53tCFGdR3FBMzCGMdXgyC/?lang=en>>. Acesso em: 19 dez. 2022.

CHAVES, V. F. **Parasitismo e desenvolvimento de *Ooencyrtus submetallicus* (Hym.: Encyrtidae) e *Telenomus podisi* (Hym.: Platygastridae) em ovos de**

***Euschistus heros* (Hem.: Pentatomidae).** 2021. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 81 f., 2021. Disponível em: <<https://files.ufgd.edu.br/arquivos/arquivos/78/MESTRADO-DOCTORADO-AGRONOMIA/Disserta%C3%A7%C3%B5es%20Defendidas/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Valeria%20Freitas%20Chaves.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 8, safra 2021/22, 3º levantamento, 2022. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 22 dez. 2022.

CORRÊA-FERREIRA, B. S.; AZEVEDO, J. Soybean seed damage by different species of stink bugs. **Agricultural And Forest Entomology**, v. 4, n. 2, p. 145-150, 2002. DOI: 10.1046/j.1461-9563.2002.00136.x. Disponível em: <<https://resjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1046/j.1461-9563.2002.00136.x>>. Acesso em: 19 dez. 2022.

CORRÊA-FERREIRA, B. S.; CASTRO, L. C.; ROGGIA, S.; CESCINETTO, N. L.; COSTA, J. M.; OLIVEIRA, M. C. N. MIP-Soja: resultados de uma tecnologia eficiente e sustentável no manejo de percevejos no atual sistema produtivo da soja. **Embrapa Soja**, Londrina, 30 p. 2013. ISSN 1516-781X; n.341). Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/87596/1/Doc-341.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2022.

CORRÊA-FERREIRA, B.S.; SOSA-GÓMEZ, D.R. Percevejos e o sistema de produção soja-milho. **Embrapa Soja**, Londrina, Documentos 397, 99 p. 2017. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/171684/1/Doc-397-OL.pdf>>. Acesso em: 24 dez. 2022.

COSTA NETO, P. R.; ROSSI, L. F. S. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em fritura. **Química Nova**, v.23, p. 4, 2000. DOI: 10.1590/S0100-40422000000400017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/ft8DCzYHxMPYK9yv7RCJzgr/?lang=pt>>. Acesso em 19 dez. 2022.

DEGRANDE, P. E.; VIVAN, L. M. Pragas da soja. In: YUYAMA, M. M.; SUZUKI, S.; CAMACHO, S. A. (ed.). **Boletim de Pesquisa de Soja**. Rondonópolis: Fundação MT, p.152-215, 2010.

EMBRAPA. **Manejo integrado de pragas reduz aplicações de defensivos em quase 50%**. 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2634688/manejo-integrado-de-pragas-reduz-aplicacoes-de-defensivos-em-quase-50>>. Acesso em: 24 dez. 2022.

FONTES, A.V. **Processo de industrialização da soja no Brasil**. 2022. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em: <<http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/28362/1/ProcessoIndustrializa%C3%A7%C3%A3oSoja.pdf>>. Acesso em: 26 dez. 2022.

FREITAS, M. C. M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.

7, n. 12, p. 1-12, 2011. Disponível em:

<<https://www.conhecer.org.br/enciclop/2011a/agrarias/a%20cultura%20da%20soja.pdf>>. Acesso em: 26 dez. 2022.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R.P.L.; BATISTA, G.C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B.; VENDRAMIM, J.D.; MARCHINI, L.C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 920 p. 2002.

GAZZONI, D. L. A soja no Brasil é movida por inovações tecnológicas. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 70, n. 3, p. 16-18, 2018. DOI: 10.21800/2317-66602018000300005. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252018000300005>. Acesso em: 24 dez. 2022.

GODOY, K. B.; ÁVILA, C. J.; ARCE, C. C. M. **Controle Biológico de Percevejos Fitófagos da Soja na Região de Dourados, MS**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 43 p. 2007. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/254791/1/BP200740.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2022.

GRANDE, M. L. M.; QUEIROZ, A. P.; GONÇALVES, J.; HAYASHIDA, R.; VENTURA, M. U.; BUENO, A. F. Impact of Environmental Variables on Parasitism and Emergence of *Trichogramma pretiosum*, *Telenomus remus* and *Telenomus podisi*. **Neotropical Entomology**, v. 50, n. 4, p. 605-614, 2021. DOI: 10.1007/s13744-021-00874-2. Disponível em: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s13744-021-00874-2.pdf?pdf=button>>. Acesso em: 20 dez. 2022.

HAYASHIDA, R.; BUENO, A. F.; HERMEL, A. O.; HIRAKURI, M. H.; SILVA, F. A. C.; ROGGIA, S. *Euschistus heros* (Hemiptera: pentatomidae) fitness on artificial diets: An approach to Optimize Mass Rearing of *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Platygastriidae) for Augmentative Biological Control. **Journal Of Economic Entomology**, v. 111, n. 4, p. 1605-1613, 2018. DOI: 10.1093/jee/toy154.

HOFFMANN-CAMPO, C. B.; MOSCARDI, F.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; OLIVEIRA, L. J.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; PANIZZI, A. R.; CORSO, I. C.; GAZZONI, D. L.; OLIVEIRA, E. B. **Pragas da soja no Brasil e seu manejo integrado**. Londrina: Embrapa Soja, 70 p. 2000. ISSN 1516-7860. Disponível em: <http://ccpran.com.br/upload/downloads/dow_7.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2022.

INSTITUTO MATO-GROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA, IMEA. **Custo de produção da soja - safra 2020/21**. 2021. Disponível em: <<http://www.imea.com.br/imea-site/relatorios-mercado-detalle?c=4&s=3>>. Acesso em: 24 dez. 2022.

JOHNSON, N.F. Systematics of Nearctic *Telenomus*: Classification and Revisions of the podisi and pbymatae Species Groups (Hymenoptera: Scelionidae). **Bulletin of the Ohio Biological Survey**, 1984. Disponível em: <<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19850529768>>. Acesso em 20 dez. 2022.

KESTER, C.M.; SMITH, C.M. Effects of diet on growth, fecundity and duration of tethered flight of *Nezara viridula*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 35, p. 75-81, 1984. DOI: 10.1111/j.1570-7458.1984.tb03363.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1570-7458.1984.tb03363.x?utm_sq=gkcuvopima>. Acesso em: 22 dez. 2022.

KOGAN, M. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary development. **Annual Review of Entomology**, v.43, p. 243-270, 1998.

LINDSTEDT, C.; MURPHY, L.; MAPPES, J. Antipredator strategies of pupae: how to avoid predation in an immobile life stage? **Philosophical Transactions Of The Royal Society - Biological Sciences**, v. 374, n. 1783, 2019. DOI: 10.1098/rstb.2019.0069. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/335402583_Antipredator_strategies_of_pupae_How_to_avoid_predation_in_an_immobile_life_stage>. Acesso em: 22 dez. 2022.

MARGARÍA, C. B., LOIÁCONO, M. S., LANTERI, A. A. New geographic and host records for scelionid wasps (Hymenoptera: Scelionidae) parasitoids of insect pests in South America. **Zootaxa**, p. 41-49, 2009. DOI: 10.5281/zenodo.191989.

MENDOZA, A.C., ROCHA, A.C.P., PARRA, J.R.P. Lyophilized artificial diet for rearing the Neotropical *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae). **Journal of Insect Science**, v.16, p. 1-9, 2016.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, MAPA. Instrução normativa da especificação de referência. **Diário Oficial da União**, 3 p, 2019. ISSN 1677-7042. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/produtos-fitossanitarios/arquivos-especificacao-de-referencia/INSDAn252019.especificaferDOU.pdf>>. Acesso em: 24 dez. 2022.

MOREIRA, G. R. P.; BECKER, M. Mortalidade de *Nezara viridula* (Linnaeus, 1758) (Heteroptera: Pentatomidae) no estágio de ovo na cultura da soja: todas as causas de mortalidade. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 15, p. 271-290, 1986.

MOREIRA, M. F.; MANSUR, J. F.; MANSUR, J. F. Resistência e Inseticidas: Estratégias, Desafios e Perspectivas no Controle de Insetos. In: NETO, M. A. C. S.; WINTER, S.; TERMIGONI, C.; JUNIOR, I. S. V. (ed.) **Tópicos Avançados em Entomologia Molecular**. Rio de Janeiro, cap. 15, 2012.

OLIVEIRA, R. C. Utilização de *Telenomus podisi* no manejo de *Euschistus heros*. In: PARRA, J. R. P.; PINTO, A. S.; NAVA, D. E.; OLIVEIRA, R. C.; DINIZ, A. J. F. (ed.) **Controle Biológico com Parasitoides e Predadores na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Fealq, cap. 9, 2021. p. 235-247.

PACHECO, D. J. P.; CORRÊA-FERREIRA, B. S. Parasitismo de *Telenomus podisi* Ashmead (Hymenoptera: Scelionidae) em populações de percevejos pragas da soja. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v.29, p. 295-302, 2000. DOI: 10.1590/S0301-80592000000200011. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/aseb/a/xfHfFNxPq7mdxqXJxfMM8dd/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 22 dez. 2022.

PACHECO, D. J. P.; CORRÊA-FERREIRA, B. S. Potencial reprodutivo e longevidade do parasitoide *Telenomus podisi* Ashmead, em ovos de diferentes espécies de percevejos. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 27, p. 585-591, 1998. DOI: 10.1590/S0301-80591998000400011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/aseb/a/Q7jMRy8nNJbgwJ4LhFmrQVb/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 22 dez. 2022.

PANIZZI, A. R. Growing problems with stink bugs (Hemiptera: Heteroptera: Pentatomidae): species invasive to U.S. and potential neotropical invaders. **American Entomologist**, vol. 61, p. 223-233, 2015. DOI: 10.1093/ae/tmv068. Disponível em: <<https://academic.oup.com/ae/article/61/4/223/2194515>>. Acesso em: 22 dez. 2022.

PANIZZI, A. R.; SLANSKY Jr, F. Review of phytophagous pentatomids (Hemiptera: Pentatomidae) associated with soybean in the Americas. **Florida Entomologist**, Lutz, v. 68, p. 184-203, 1985.

PARRA, J.R.P. A biologia de insetos e o manejo de pragas: da criação em laboratório a aplicação em campo. In: GUEDES, J.C.; COSTA, I. D.; CASTIGLIONI, E. (ed.). **Bases técnicas do manejo de insetos**. Santa Maria: UFSM, 2000. p.1-29.

PARRA, J.R.P. **Técnicas de criação de insetos para programas de controle biológico**. Piracicaba: FEALQ, 137 p. 2001.

PINTO, A. S.; PARRA, J. R. P. Tecnologia de liberação de parasitoides e predadores. In: PARRA, J. R. P.; PINTO, A. S.; NAVA, D. E.; OLIVEIRA, R. C.; DINIZ, A. J. F. (ed.) **Controle Biológico com Parasitoides e Predadores na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Fealq, cap. 17, 2021. p. 427-477.

PRATISSOLI, D.; OLIVEIRA, H. N. D.; POLANCZYK, R. A.; HOLTZ, A. M.; BUENO, R. C. O. D. F.; BUENO, A. D. F.; GONZALEZ, J. R. Adult feeding and mating effects on the biological potential and parasitism of *Trichogramma pretiosum* and *T. acacioi* (Hym.: Trichogrammatidae). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 52, n. 5, p. 1057-1062, 2009. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/513079/adult-feeding-and-mating-effects-on-the-biological-potential-and-parasitism-of-trichogramma-pretiosum-and-t-acacioi-hym-trichogrammatidae>>. Acesso em: 19 dez. 2022.

PRATISSOLI, D.; THULER, R. T.; PEREIRA, F. F.; FIALHO, E. R.; FERREIRA, A. T. Ação transovariana de lufenuron (50 G/ L) sobre adultos de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) e seu efeito sobre o parasitóide de ovos *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, p. 9-14, 2004. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cagro/a/5YM7NpB9PLS9BbHG6yrkKZd/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 19 dez. 2022.

ROSSETO, C.J. **Requisitos nutricionais de insetos fitófagos**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 30p. 1980 - (Circular, 105).

SILVA, G.V. **Aspectos Biológicos para criação e utilização de *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Platygastridae) no manejo de *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae)**. 2017. Tese (Doutorado em Agronomia: Fitossanidade) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 114 f. 2017. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11146/tde-10052016-181150/en.php>>. Acesso em: 20 dez. 2022.

SILVA, G. V.; BUENO, A. F.; FAVETTI, B. M.; NEVES, P. M. O. J. Use of Low Temperature Storage to Preserve Host and Parasitoid to Improve the Rearing of *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Platygastridae) on *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae). **Neotropical Entomology**, v. 48, n. 1, p. 126-135, 2018a. DOI: 10.1007/s13744-018-0609-4. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1110714/1/aSilva2019ArticleUseOfLowTemperatureStorageToPr.pdf>>. Acesso em 20 dez. 2022.

SILVA, G. V.; BUENO, A. F.; NEVES, P. M. O. J.; FAVETTI, B. M. Biological Characteristics and Parasitism Capacity of *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Platygastridae) on Eggs of *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae). **Embrapa Soja**, 2018b. DOI: 10.5539/jas.v10n8p210. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1103516/biological-characteristics-and-parasitism-capacity-of-telenomus-podisi-hymenoptera-platygastridae-on-eggs-of-euschistus-heros-hemiptera-pentatomidae>>. Acesso em: 19 dez. 2022.

SILVA, V. P.; PEREIRA, M.J. B.; VIVAN, L. M.; BLASSIOLI-MORAES, M. C.; LAUMANN, R. A.; BORGES, M. Monitoramento do percevejo marrom *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae) por feromônio sexual em lavoura de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 11, p. 844-852, 2014. DOI: 10.1590/S0100-204X2014001100003. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/pab/a/fVHndJrx6STwz6p5hsvKZFK/?lang=pt>>. Acesso em: 19 dez. 2022.

SIMPSON, S. J.; SIBLY, R. M.; LEE, K. P.; BEHMER, S. T.; RAUBENHEIMER, D. Optimal foraging when regulating intake of multiple nutrients. **Animal Behaviour**, London, v. 68, p. 1299-1311, 2004.

TAGUTI, E. A. **Bioecologia de *Telenomus podisi* (Ashmead, 1893) (Hymenoptera: Scelionidae) em ovos de *Dichelops melacanthus* (Dallas, 1851) e *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Hemiptera: Pentatomidae)**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 75 f. 2018. Disponível em: <<https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/trabalhoConclusaoWS?idpessoal=37849&idprograma=40001016005P5&anobase=2018&idtc=26>>. Acesso em: 22 dez. 2022.

TAKASU, K.; LEWIS, W. L. Importance of Adult Food Sources to Host Searching of the Larval Parasitoid *Microplitis croceipes*. **Biological Control**, n. 5, p. 25-30. 1994.

TORRES, J. B., ZANUNCIO, J. C., MOURA, M. A. The predatory stinkbug *Podisus nigrispinus*: biology, ecology and augmentative releases for lepidopteran larval control in Eucalyptus forests in Brazil. **Biological Control**, v. 27, p. 1–18, 2006. DOI: 10.1079/PAVSNNR20061015.

TUELHER, E.S.; SILVA, E.H.; RODRIGUES, H.S.; HIROSE, E.; GUEDES, R.N.C.; OLIVEIRA, E.E. Area-wide spatial survey of the likelihood of insecticide control failure in the neotropical brown stink bug *Euschistus heros*. **Journal of Pest Science**, v. 91, p. 849-859, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0949-6>.

VILLAS-BÔAS, G. L., PANIZZI, A. R. Biologia de *Euschistus heros* (Fabricius, 1798). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 9, p. 105-113, 1980.

WEBER, I. D.; GARCIA, A. G.; BUENO, A. F.; OLIVEIRA, R. C.; GODOY, W. A. C. Release strategies of *Telenomus podisi* for control of *Euschistus heros*: a computational modeling approach. **Pest Management Science**, v. 78, n. 11, p. 4544-4556, 2022. DOI: 10.1002/ps.7074.

CAPÍTULO 2

OPTIMIZING MASS REARING OF THE EGG PARASITOID, *Telenomus podisi*, FOR CONTROL OF THE BROWN STINK BUG, *Euschistus heros*¹

Simple Summary: Biological control programs are used to effectively manage pests in a more sustainable way, such as the case of the microwasp parasitoid *Telenomus podisi* for managing eggs of the brown stink bug *Euschistus heros*, a key pest in South American soybean. A biological control program requires continuous production of the parasitoids and thus, artificial diets and freezing of host eggs are necessary. We evaluated the parasitism capacity of *T. podisi* reared on fresh or previously frozen eggs from *E. heros* fed on natural or two artificial diets. Seven constant temperatures were tested for each condition. We measured biological parameters of wasps and the rates of parasitism. We found that 24 °C had better parasitism and viability parameters, and was most-favorable to *T. podisi* production. We also found that both tested artificial diets for *E. heros* produced eggs that support mass rearing of this egg parasitoid.

Abstract: The parasitoid *Telenomus podisi* Ashmead, 1893 is used in biological control programs in Brazil against eggs of *Euschistus heros* (Fabricius, 1798), a key pest of soybean, *Glycine max* (L.) Merr. To optimize the mass production of parasitoids, artificial diets and storage of host eggs at low temperatures have been developed; however, direct comparisons of the effects of these conditions have not occurred. We assessed a double factorial arrangement composed of six treatments (fresh or cryopreserved *E. heros* eggs from adults fed on natural or two artificial diets). We evaluated the biological characteristics and parasitism capacity of *T. podisi* produced from these treatments across seven temperatures. The thermal range between 21 and 30 °C resulted in satisfactory daily parasitism in all treatments tested, with an inverse relationship between temperature and female survival. The best parasitoid biological parameters were found between 21 and 27 °C, where all tested diets supported *T. podisi* development, with the best results from artificial diets. Fresh eggs and those frozen in liquid nitrogen and stored at -196 °C until use supported parasitoid development. These results suggest that the best method to mass rear *T. podisi* is to use artificial diets to rear *E. heros* and store eggs until needed, and then rear parasitoids at 24 °C.

Keywords: biological control; stink bug; parasitoids; mass rearing; optimization

¹ Capítulo redigido de acordo com as normas do periódico Insects

2.1 Introduction

The brown stink bug, *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae), is one of the key pests in soybean, *Glycine max* (L.) Merr., grown in Brazil. As a piercing-sucking insect, it is able to feed on both the plant and the grains, which can cause indirect damage to the plants and direct damage to yields [1]. It is a neotropical pentatomid and due to the increase in global temperature in the past decades, *E. heros* attacks soybean crops across Brazil [2].

The majority of producers still exclusively use chemical control for managing *E. heros* [3]. Although chemical control is one of the pillars of Integrated Pest Management (IPM), it should be used as the last management tactic, always based on pest monitoring, and following the recommended dose and rotating mode of action. Unfortunately, the traditional culture of the producers and the lack of different ingredients for the management of pentatomids has resulted in overuse of chemical pesticides and widespread insecticide resistance [4]. In addition, over reliance on chemical pesticides has caused a decrease in natural enemies, environmental damage, and an increase in production costs [5,6].

The use of biological control has been increasing for pest management in crops as a way to reduce the use of pesticides and increase the sustainability of the agroecosystem, while preventing economic damage [7]. The egg parasitoid *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Scelionidae) has been shown to be effective in managing populations of *E. heros*, the preferred host [8]. By parasitizing the egg stage, it has advantages in preventing the establishment and feeding damage of the pest [9]. Currently, around 60,000 hectares of soybean in Brazil are managed for *E. heros* with the release of *T. podisi*, with potential for expansion in the coming years [3,10].

For the release of *T. podisi* to occur effectively, a sufficient amount of parasitoids must be produced in specialized biofactories. However, the production of *T. podisi* requires substantial labor since the shelf life of natural enemies is low. An additional challenge is that, in most cases, the parasitoids are used at specific times of the year, depending on the planting cycle of each crop [11,12]. Large-scale insect rearing aims to reduce costs and increase production without reducing parasitoid quality [13,14]. Currently, techniques using artificial diets [15–17] and storage of host eggs at low temperatures [11,18,19] help in reducing rearing costs. Parasitoids also require hosts eggs with good quality and sufficient nutritional value [20]. Consequently, the egg

aspect and content of nutrients in mass rearing are essential for parasitism, providing enough parasitoids for field release.

The development of research in quality control of *T. podisi* is still new in Brazil, as the commercialization of this parasitoid was only registered in 2019 [21]. The reproductive rates of parasitoids are the basis for evaluating the control potential of a species as a biological control agent applied with inundative releases in the field [22]. Biological parameters, including sex ratio and viability, can also affect the success of parasitism in the field [23]. In addition, climate conditions strongly influence insect physiological development, migration, and dispersal [24]. Therefore, studies to optimize rearing of *T. podisi* based on biological attributes and rearing temperature are essential to understand the main requirements of this natural enemy, improving mass production with satisfactory quality to manage pests in the field [23].

The objectives of this study were to evaluate the parasitism capacity, thermal requirements, and biological characteristics of *T. podisi* that emerged from *E. heros* eggs. Eggs were obtained from adult stink bugs fed with different diets and used fresh or stored eggs that were frozen in liquid nitrogen. All conditions were tested at different temperatures (15 ± 1 , 18 ± 1 , 21 ± 1 , 24 ± 1 , 27 ± 1 , 30 ± 1 , and 33 ± 1 °C). Our work provides new information for *T. podisi* rearing to assist in the success of biological control programs against *E. heros* in Brazil and elsewhere.

2.2 Materials and Methods

2.2.1 Rearing of *E. heros* with natural and artificial diets

The rearing of *E. heros* was carried out at the Laboratory of the Research Group on Integrated Pest Management in Agriculture (AGRIMIP), located at the School of Agricultural Sciences (FCA/UNESP) in the municipality of Botucatu ($22^{\circ}50'42''$ S $48^{\circ}26'03.9''$ W), maintained under controlled conditions of light (14 h of photophase), relative humidity ($70 \pm 10\%$), and temperature (25 ± 2 °C).

Adult and third-stage nymphs of *E. heros* were kept in plastic cages ($25 \times 25 \times 12$ cm) covered with voile fabric to allow for ventilation. Fabric strips were provided in the adult cages as substrate for copulation, walking, and oviposition. As a food source, a natural or artificial diet was provided to the insects, depending on the bioassays to be performed. The natural diet consisted of 10 green bean pods (*Phaseolus vulgaris* L.) and 20 grains of raw peanuts (*Arachis hypogaea* L.) per cage. In artificial diet cages (Table 1), 10 pieces of 1 cm^2 of the diet were offered in each box. The artificial diets were created by grinding the ingredients in a grain grinder and, in sequence, in a

homemade processor. The ingredients were homogenized and the diets were placed into aluminum foil, and then baked in an oven at 60 °C for 3 h to dry. As a source of water, cotton soaked in filtered water was offered in the rearing cages.

Table 1. Type of diet, ingredients, and quantity offered per box in the rearing of *Euschistus heros*.

Diet	Ingredients	Quantity Offered Per Box
Natural	Fresh bean pod (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	10 units
	Raw peanut (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	20 g
Artificial 1	35 g raw peanut	
	30 g soybean (<i>Glycine max</i> L.)	
	5 g sucrose	10 units of 1 cm ²
	25 mL distilled water	
	2 mL anticontaminants ¹	
Artificial 2	35 g raw peanut	
	30 g fresh bean pod	
	10 g sunflower seed (<i>Helianthus annuus</i> L.)	
	10 g wheat germ (<i>Triticum</i> spp.)	10 units of 1 cm ²
	10 g soybean	
	5 g sucrose	
	2 mL anticontaminants ¹	

¹Anticontaminants composed of tetracycline (0.00765 ppm), nipagim (10,000 ppm), and sorbic acid (800 ppm) [17].

Every 2 days, the eggs of *E. heros* were removed from the cages and placed in plastic dishes (60 × 12 mm) for hatching of the nymphs, to maintain the laboratory colony or were used for the bioassays. For comparisons with fresh eggs, 1 mL of eggs (1000 eggs on average) from each type of diet was wrapped in aluminum foil, closed with adhesive tape, and cryopreserved in liquid nitrogen (−196 °C) until the beginning of the bioassay.

2.2.2 Rearing of *T. podisi*

The rearing of *T. podisi* was carried out in the same place as the rearing of *E. heros*, under the same controlled laboratory conditions. About 5 mL of fresh *E. heros* eggs (approximately 5000 eggs) were glued with nontoxic white glue onto cardboard (8 × 10 cm), placed in 3-liter plastic pots, covered with plastic film and elastic, allowing for parasitism for 5 days. As a food source, pure honey was rubbed on the sides of the pots. This procedure was carried out once a week to continue the rearing of *T. podisi* and to supply parasitoid females for bioassays.

2.2.3 Parasitism capacity and thermal requirements of *T. podisi* in *E. heros* eggs from different diets

To assess the parasitism capacity of *T. podisi*, a paper card (1 × 7 cm) was prepared with 20 eggs of *E. heros* for each replication of the six treatments described below. Cards were transferred to glass tubes (2 × 8 cm). Each treatment had five replications, forming a double factorial scheme, with eggs from six different conditions (natural and two artificial diets, each cryopreserved or fresh) tested at seven different temperatures: 15 ± 1 , 18 ± 1 , 21 ± 1 , 24 ± 1 , 27 ± 1 , 30 ± 1 , and 33 ± 1 °C. The treatments consisted of: T1: Fresh eggs of *E. heros* from natural diet; T2: Cryopreserved eggs of *E. heros* from natural diet; T3: Fresh eggs of *E. heros* from artificial diet 1 (AD1); T4: Cryopreserved eggs of *E. heros* from AD1; T5: Fresh eggs of *E. heros* from artificial diet 2 (AD2); T6: Cryopreserved eggs of *E. heros* from AD2.

One female newly emerged (≤ 24 h) and previously mated of *T. podisi* was added to each glass tube, a honey droplet was provided as a food source, and the tube was sealed with PVC plastic film. The card with the eggs from each replication of the treatments was changed each 24 h until the female died. When removed, the cards were placed in plastic bags (24 × 4 cm) at the respective temperature in Biochemical Oxygen Demand (BOD) climatic chambers. Parasitism was evaluated (Equation (1)) over the days by the total number of eggs and number of parasitized eggs, which were determined using a stereoscopic microscope (Leica EZ4). The development of *T. podisi* (egg-adult) was observed from the day of parasitism until emergence.

$$\% \text{ Parasitism} = (n^{\circ} \text{ parasitized eggs} \times 100) \div \text{total } n^{\circ} \text{ of eggs} \quad (1)$$

The thermal requirements for *T. podisi* development in each treatment were based on the parameters of thermal constant (K) and the lower temperature threshold (T_o), given by the development period time (egg-adult). *T. podisi* development rates

as a function of temperature were calculated using both a linear and a nonlinear model (Briere 1) (Table 2) and the parameters were estimated with the Levenberg–Marquardt method using the minpack.lm package in R 3.5 [25,26]. The most suitable models were selected based on the chi-square test of adherence (χ^2), the logarithm of maximum likelihood (LogLik), the sum of squared residuals (RSS), Akaike’s information criterion (AIC), the Bayesian information criterion (BIC), and the adjusted coefficient of determination ($\text{adj}R^2$). The daily parasitism and accumulated parasitism (calculated by adding daily parasitism rates until the female’s death) were based on the percentage of parasitized eggs (Equation (1)) per day in each tested temperature until female *T. podisi* death (Figures 1–6).

Table 2. Linear and nonlinear models used to estimate the ratio of development to room temperature (24 ± 2 °C).

Model	Equation	Definition of variables	References
Linear	$r(T) = a + b \cdot T$	a : line intercept b : line slope	[27]
Briere 1	$r(T) = a \cdot T \cdot \frac{(T - T_{min})}{(T_{max} - T)^{\frac{1}{2}}}$	T_{min} : minimum temperature T_{max} : maximum temperature	[28]

2.2.4 Biological parameters of *T. podisi* in *E. heros* eggs from different diets

The effect of the different diets offered to *E. heros* and storage conditions of eggs on the biological parameters of *T. podisi* were evaluated by placing one female parasitoid newly emerged and mated in a glass tube (2×8 cm) containing a paper card (1×7 cm) with 30 *E. heros* eggs and six replications. The treatments were composed of the same diets and egg conditions as the parasitism capacity bioassay (T1 to T6), and were also evaluated at seven different temperatures (15 ± 1 to 33 ± 1 °C).

A honey droplet was offered in each glass tube as a food source. After 24 h of parasitism at 25 ± 2 °C, the cards with parasitized eggs of *E. heros* were removed and placed in plastic bags (24×4 cm) at the respective temperatures in BOD climatic chambers. After emergence, 15 adult females and 15 adult males of *T. podisi* from the eggs in each treatment were stored in 70% alcohol until body length was measured using the software Leica Application Suite-Version 1.6.0. The total number of eggs,

number of parasitized eggs, number of eggs with emergence holes, and number of females and males emerged were quantified. With these data, it was possible to evaluate the following biological parameters: Parasitism (Equation (2)), viability (Equation (3)), number of individuals per egg (Equation (4)), and sex ratio (Equation (5)).

$$\text{Parasitism} = (n^{\circ} \text{ parasitized eggs} \times 100) \div \text{total } n^{\circ} \text{ of eggs} \quad (2)$$

$$\text{Viability} = n^{\circ} \text{ eggs with emergence hole} \div n^{\circ} \text{ parasitized eggs} \quad (3)$$

$$N^{\circ} \text{ individuals per egg} = \text{total number of individuals} \div n^{\circ} \text{ of eggs with emergence hole} \quad (4)$$

$$\text{Sex ratio} = n \text{ females} \div n^{\circ} \text{ females} + \text{males} \quad (5)$$

We carried out a completely randomized exploratory analysis using a 6×7 factorial arrangement (diets x temperatures). The means of body length of females and males of *T. podisi* and the means of parasitism, viability, number of individuals per egg, and sex ratio were tested for homogeneity [29], normality, and independence of variances [30].

To determine the influence of treatments and temperatures, we used a generalized linear model with a Gaussian distribution for the body length parameter, binomial residual distribution for the sex ratio and viability parameters, and a Poisson residual distribution for the parameters of the number of individuals per egg and parasitism, followed by Tukey's multiple comparison test ($p < 0.05$). All statistical analyses were performed using R 3.5 [26].

2.3 Results

2.3.1 Parasitism capacity of *T. podisi* in *E. heros* eggs from different diets

At low temperatures (15 and 18 °C), there was a low or no daily parasitism in the first days of all treatments (T1 to T6). The longest survival of *T. podisi* females in this thermal range was 25 to 35 days, with accumulated parasitism reaching a plateau over time (Figures 1–6). At 33 °C (highest temperature), a low daily parasitism was also observed in the first days, except for T3 that reached 60% of eggs parasitized. Females also had the lowest survival times of 4 days. Moreover, at 33 °C, no accumulated parasitism was observed.

The thermal range of 21 to 24 °C was the most suitable for *T. podisi*, with T1 and T3 reaching more than 80% parasitism with other treatments exhibiting 30 to 70%

parasitism. The maximum parasitism observed at 27 and 30 °C was 60%, with the exception of T5 at 27 °C, which had more than 80% parasitism. In all treatments, we observed that increases in temperature decreased the rate of daily and accumulated parasitism over time and reduced female survival (Figures 1–6).

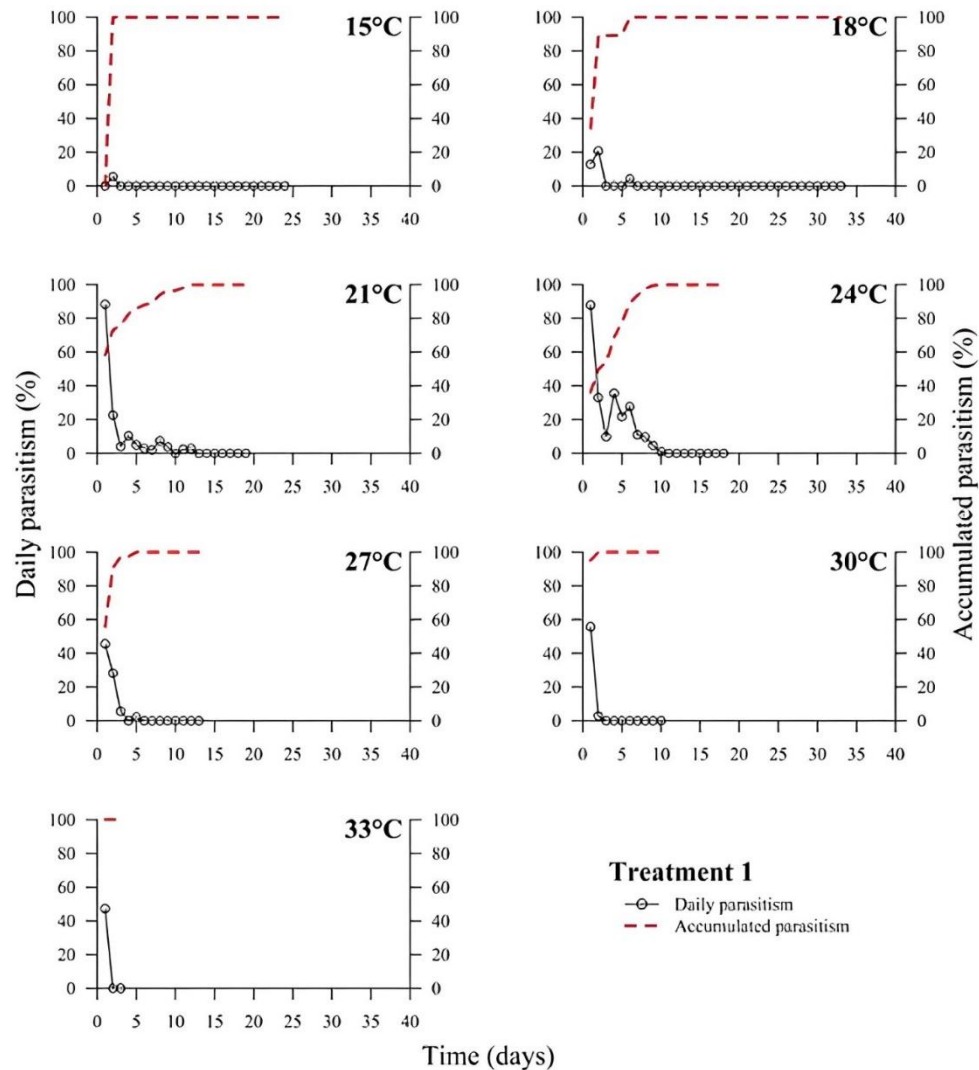


Figure 1. Daily and accumulated parasitism (%) of *Telenomus podisi* of *Euschistus heros* fresh eggs reared with natural diet (Treatment 1) at different temperatures under 70±10% relative humidity and 14:10 h of photoperiod.

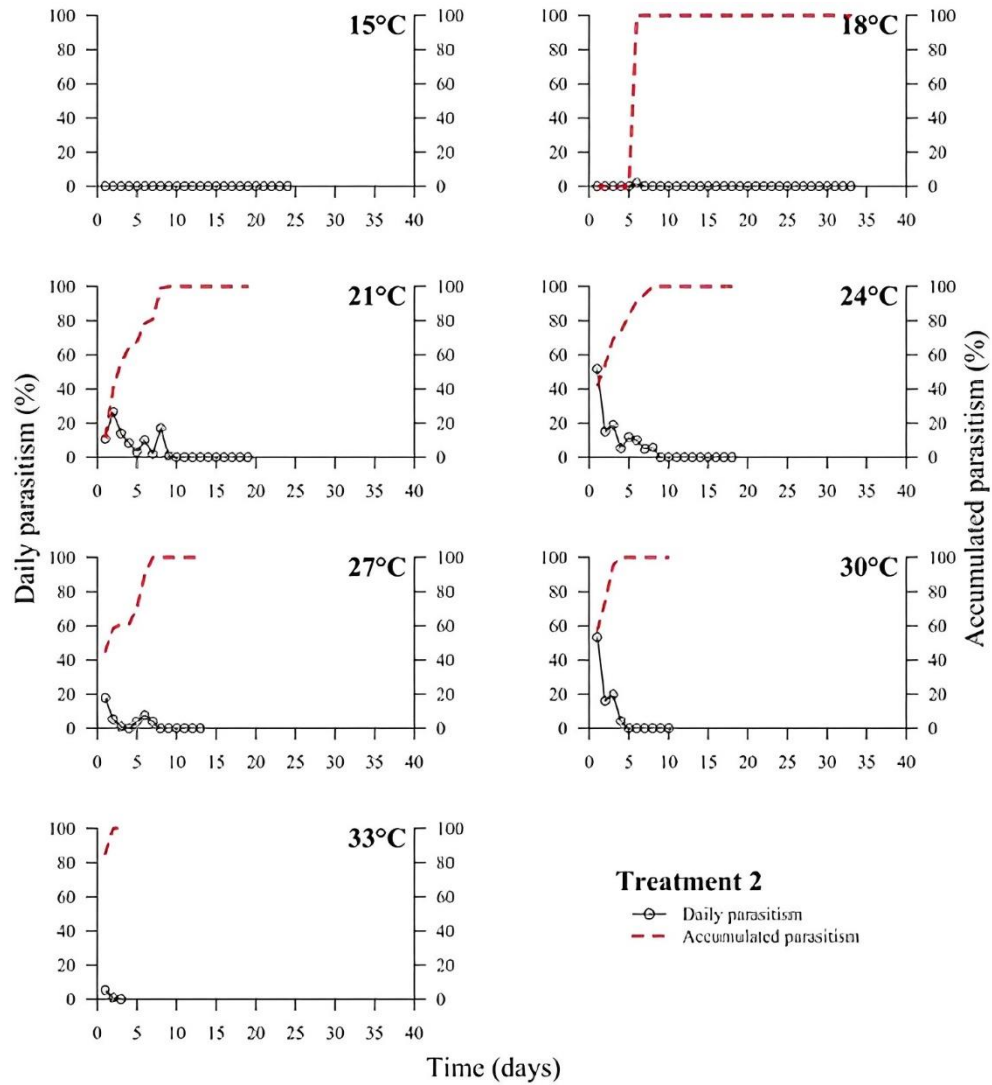


Figure 2. Daily and accumulated parasitism (%) of *Telenomus podisi* of *Euschistus heros* cryopreserved eggs reared with natural diet (Treatment 2) at different temperatures under $70 \pm 10\%$ relative humidity and 14:10 h of photoperiod.

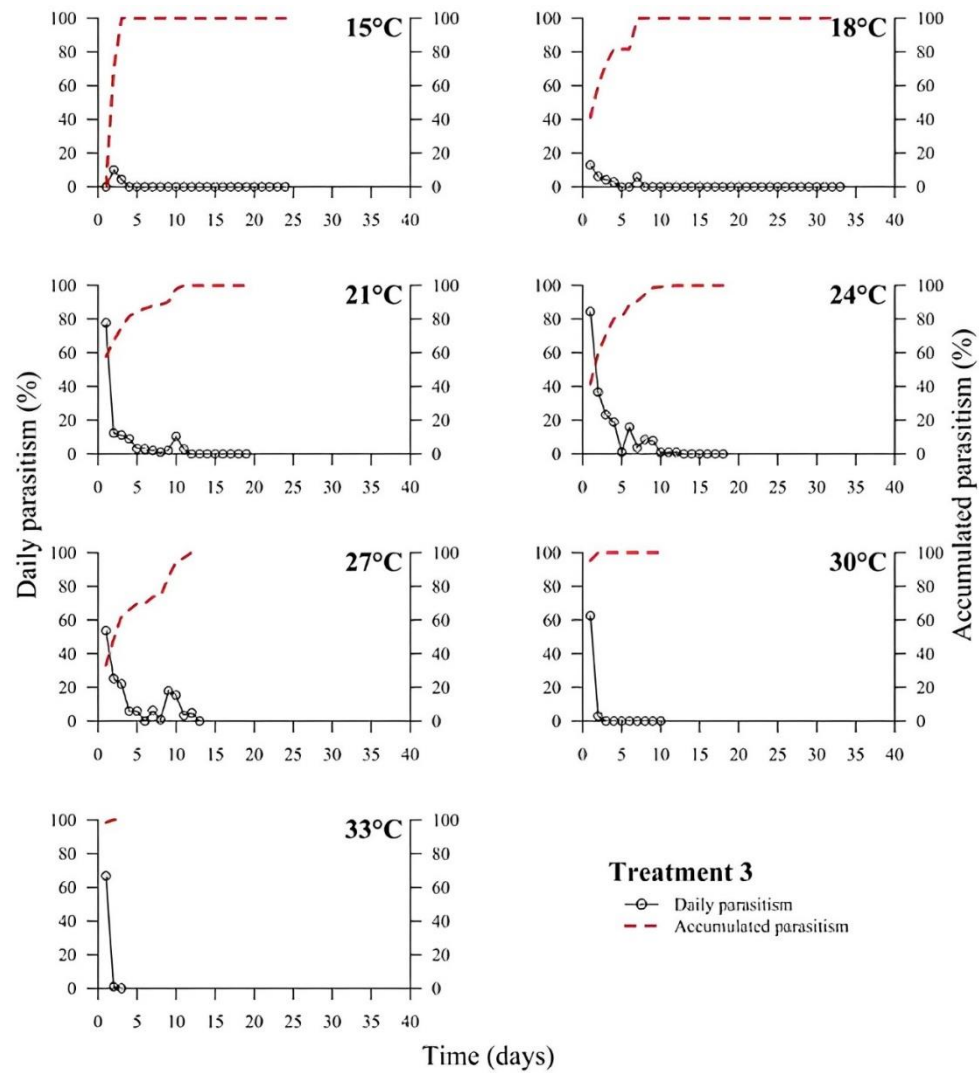


Figure 3. Daily and accumulated parasitism (%) of *Telenomus podisi* of *Euschistus heros* fresh eggs reared with artificial diet 1 (Treatment 3) at different temperatures under $70\pm 10\%$ relative humidity and 14:10 h of photoperiod.

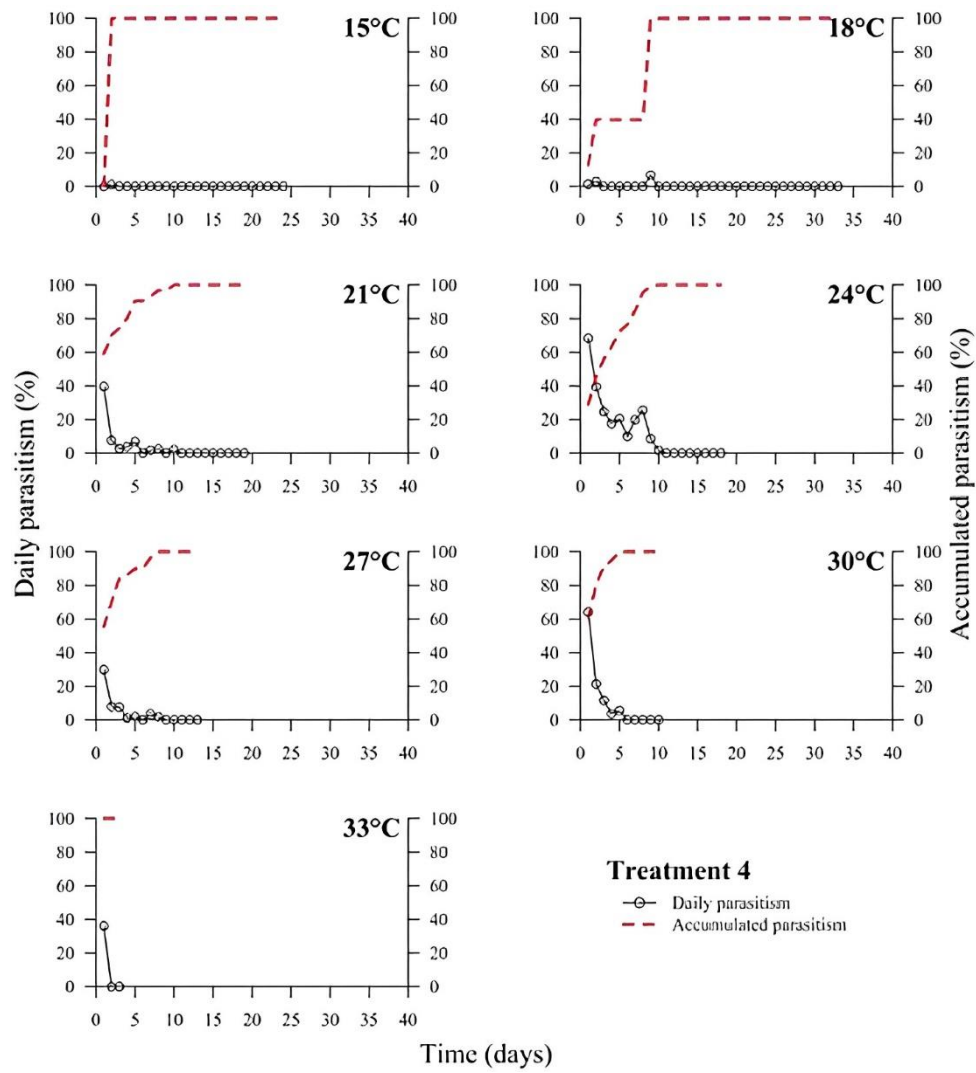


Figure 4. Daily and accumulated parasitism (%) of *Telenomus podisi* of *Euschistus heros* cryopreserved eggs reared with artificial diet 1 (Treatment 4) at different temperatures under 70±10% relative humidity and 14:10 h of photoperiod.

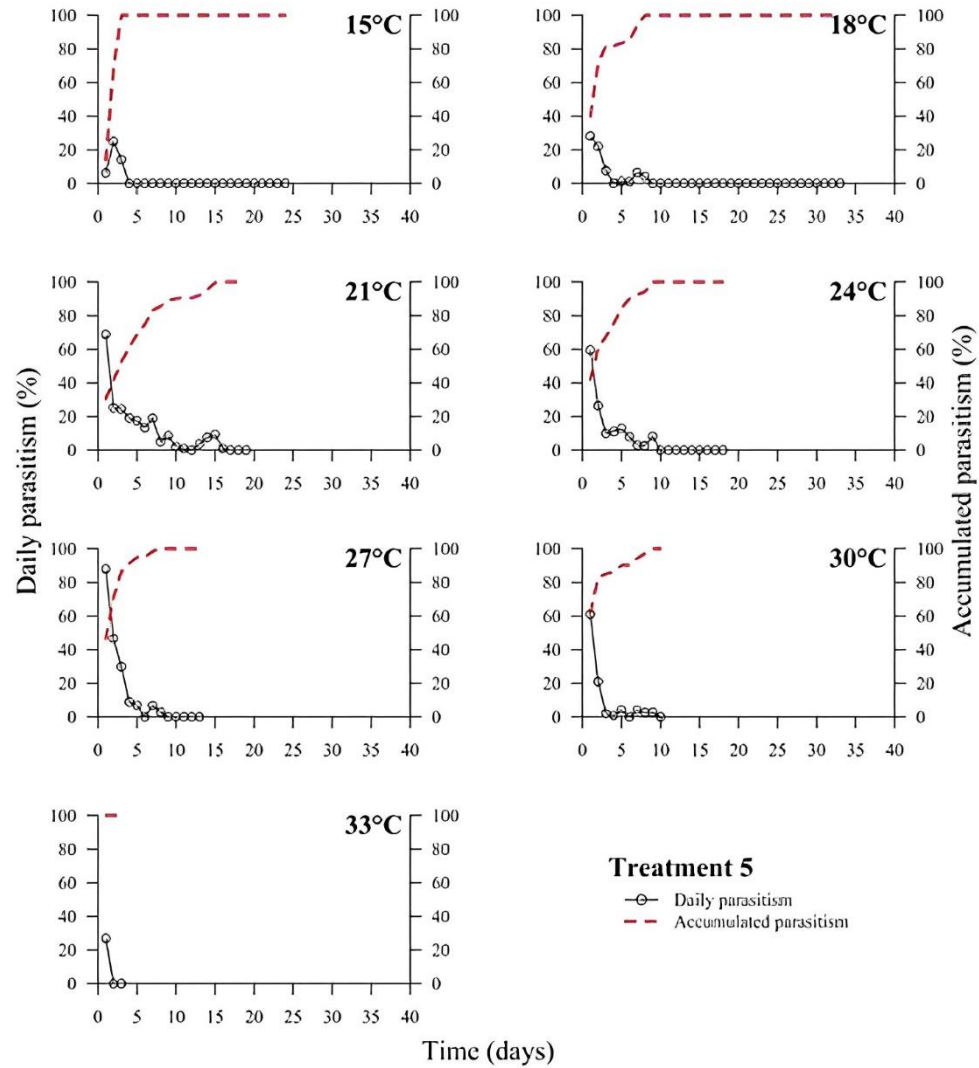


Figure 5. Daily and accumulated parasitism (%) of *Telenomus podisi* of *Euschistus heros* fresh eggs reared with artificial diet 2 (Treatment 5) at different temperatures under $70\pm 10\%$ relative humidity and 14:10 h of photoperiod.

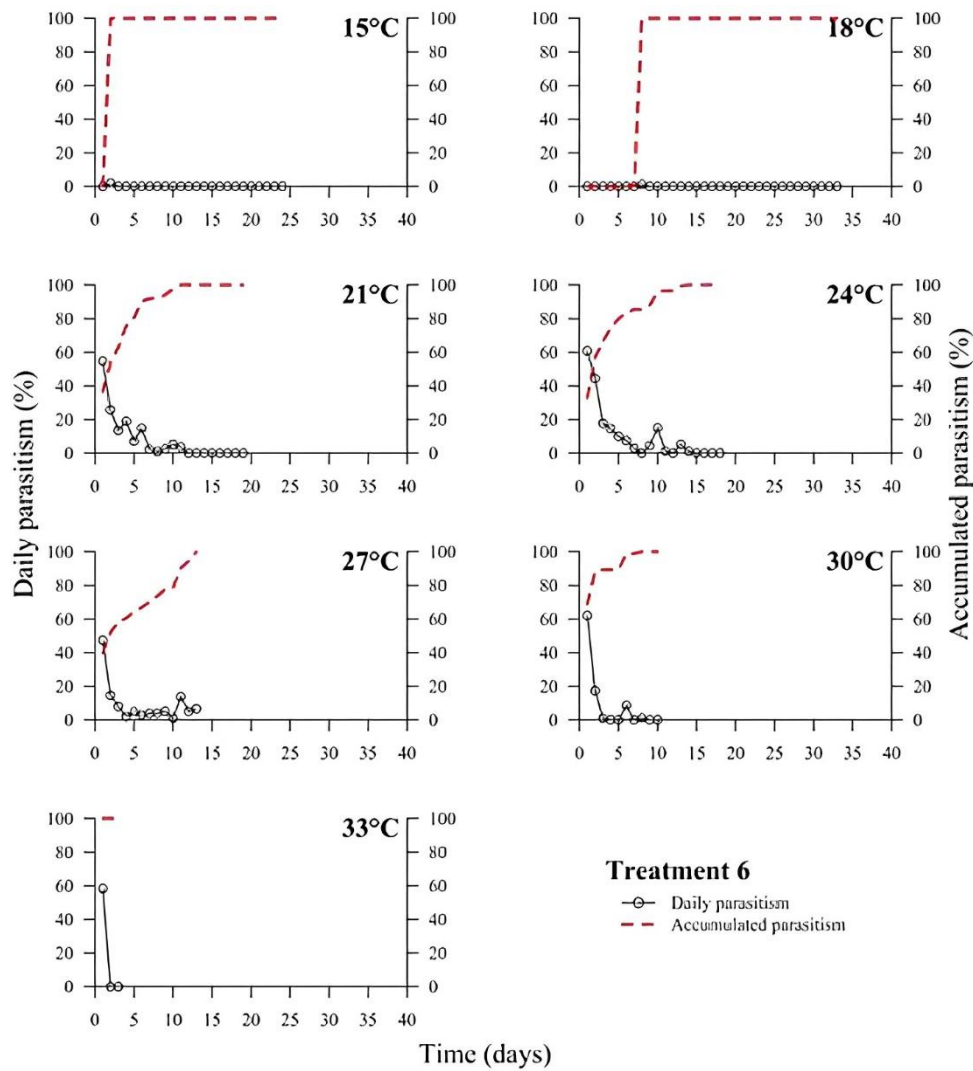


Figure 6. Daily and accumulated parasitism (%) of *Telenomus podisi* of *Euschistus heros* cryopreserved eggs reared with artificial diet 2 (Treatment 6) at different temperatures under $70 \pm 10\%$ relative humidity and 14:10 h of photoperiod.

2.3.2 Thermal requirements of *T. podisi* in *E. heros* eggs from different diets

Based on the models' fit tests, the R^2 adjustment was the most suitable for the tested parameters. As shown in Tables 2 and 3, the T_o values of each treatment are better adjusted in the non-linear model where they are higher than the T_o obtained by the linear model.

Based on the models' fit tests, the R^2 adjustment was the most suitable for the tested parameters. As shown in Tables 2 and 3, the T_o values of each treatment are better fit by the nonlinear model where they are higher than the T_o obtained by the linear model.

Table 3. Nonlinear regression model parameters of temperature-dependent development ratio, lower temperature threshold (T_{min} °C), upper temperature threshold (T_{max} °C), and optimal temperature

threshold (T_{opt} °C) for *Telenomus podisi* under laboratory conditions (14 h of photophase, $70 \pm 10\%$ RH, and 25 ± 2 °C).

Treatment	Model	Parameters	Estimates	SE
T1	Briere1	a	1.974×10^{-4}	9.490×10^{-5}
		T_{max}	31.80	4.573
		T_{min}	17.70	9.624×10^{-1}
		T_{opt}	28.10	
T2	Briere1	a	1.192×10^{-4}	6.734×10^{-5}
		T_{max}	33.00	3.696×10^{-4}
		T_{min}	13.28	6.090
		T_{opt}	28.10	
T3	Briere1	a	1.170×10^{-4}	7.176×10^{-5}
		T_{max}	33.95	4.680
		T_{min}	16.85	2.381
		T_{opt}	29.50	
T4	Briere1	a	1.469×10^{-4}	2.495×10^{-5}
		T_{max}	33.00	1.635×10^{-4}
		T_{min}	15.76	1.332
		T_{opt}	28.60	
T5	Briere1	a	1.377×10^{-4}	3.937×10^{-5}
		T_{max}	32.28	1.593
		T_{min}	16.13	1.259
		T_{opt}	28.1	
T6	Briere1	a	1.637×10^{-4}	3.287×10^{-5}
		T_{max}	33.00	1.796×10^{-4}
		T_{min}	17.84	1.353
		T_{opt}	29.00	

The thermal constant (K) had high variation among treatments, with lower values being observed in T1, T4, and T6 and the highest value in T2 (Table 4). In contrast, adjusted R^2 values were higher for T1, T6, T3, and lower for T2 (Table 4). Treatments composed of artificial diets and fresh eggs (T3 and T5) had higher K values compared with those composed of artificial diets and cryopreserved eggs (T4 and T6).

Table 4. Linear regression model parameters and R^2 adjusted for temperature-dependent development ratio, lower temperature threshold (T_o °C) and thermal constant (K °day) for *Telenomus podisi* under laboratory conditions (14 hours of photophase, $70 \pm 10\%$ RH and 25 ± 2 °C).

Treatments	a	SE	b	SE	To	K	R ² aj
T1	-0.206138	0.033938	0.011857	0.001492	4.85	84.34	0.9539
T2	-0.081186	0.126882	0.006602	0.005186	13.32	151.46	0.4475
T3	-0.114140	0.042444	0.007135	0.001742	8.76	140.15	0.7978
T4	-0.160032	0.074011	0.009775	0.003037	6.25	102.30	0.7006
T5	-0.106663	0.058089	0.007022	0.002383	9.38	142.41	0.6575
T6	-0.166039	0.030716	0.009581	0.001260	6.02	104.37	0.9342

In general, the upper maximum temperature (T_{max}) for survival and parasitism ranged from 32 to 34 °C in all treatments (Table 3 and Figure 7). The optimum temperature (T_{opt}) had low variation among egg treatments, with values ranging from 28 to 29 °C (Table 3 and Figure 7). However, the lowest minimum temperature (T_{min}) had different values among treatments, with higher values being observed in treatments with fresh eggs (T1 and T3) when compared to cryopreserved eggs (T2 and T4), with the exception of treatments T5 and T6 (Table 3 and Figure 7). All treatments composed of cryopreserved eggs (T2, T4, and T6) resulted in the T_{max} of 33 °C (Figure 7).

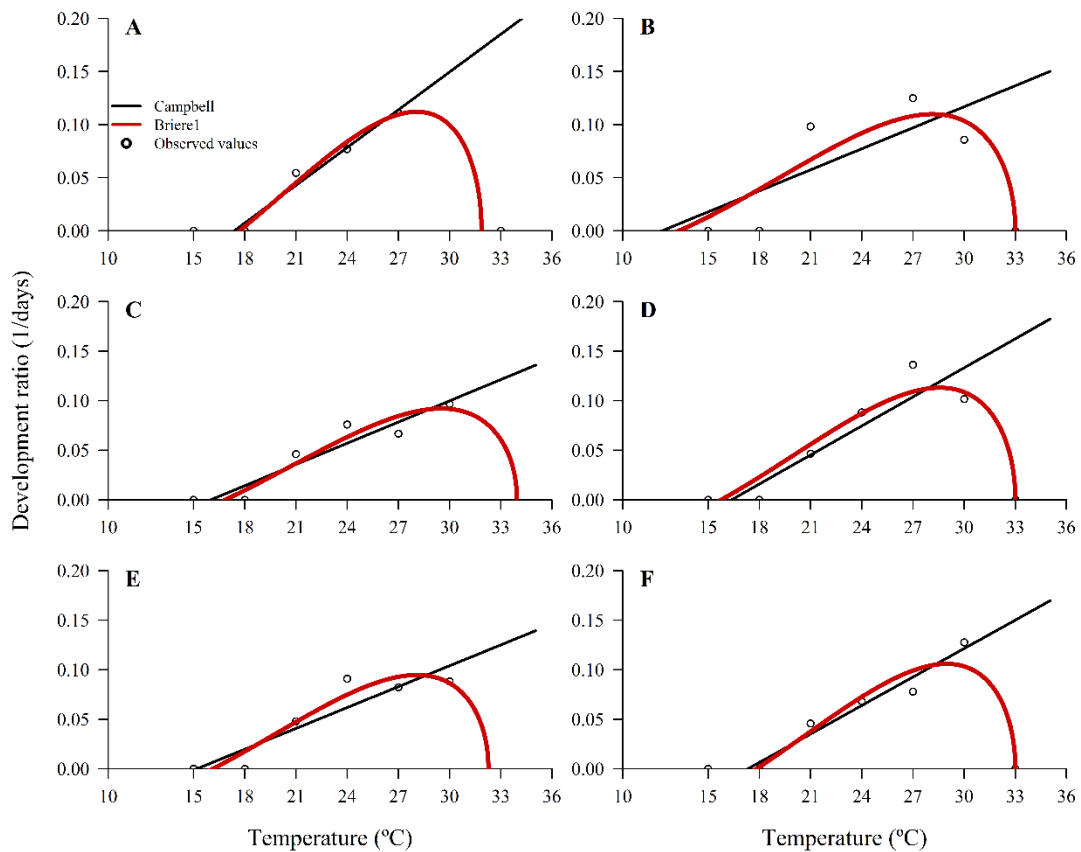


Figure 7. Linear and nonlinear regression models of temperature-dependent ratio of development for *Telenomus podisi*. Figures A to F correspond to the treatments T1 to T6 respectively.

2.3.3 Biological characteristics of *T. podisi* in *E. heros* eggs from different diets

There was a significant factorial interaction between eggs from different diets and temperature on body length in females ($F = 2.970$; $df = 15,232$; $p = 0.000$) and males ($F = 1.350$; $df = 10,100$; $p = 0.040$) of *T. podisi* (Tables 5 and 6, respectively). For the females, T2 and T5 did not affect size in relation to the tested temperatures. Treatments subjected to temperatures of 27, 30, and 33 °C also did not show significant differences in body length (Table 5). Body length of *T. podisi* males only showed differences among treatments based on tested temperatures, with differences between T5 and T6 (Table 6). The thermal range between 24 and 27 °C produced the largest body sizes in both females and males.

In Tables 5 and 6, the “-” sign indicates insufficient numbers of insects to carry out the statistical analyses. At 15 and 18 °C, no insects developed. At 33 °C, the parasitoids only emerged from T5 and T6 diets and were only females.

Table 5. Body length (mm) of *Telenomus podisi* females emerged from eggs of *Euschistus heros* reared from different diets at seven temperatures. Means followed by the same lower case letters in columns and upper case letters in rows do not differ at the 5% level.

Temperature (°C)	Females body length					
	ND ¹		AD1 ²		AD2 ³	
	Fresh ⁴ (T1)	Cryo ⁴ (T2)	Fresh (T3)	Cryo (T4)	Fresh (T5)	Cryo (T6)
15	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-
21	0.998±0.029 bC	-	1.064±0.014 aAB	1.119±0.016 aA	1.032±0.013 aBC	1.089±0.017 aA
24	0.981±0.011 bB	1.022±0.011 aAB	1.042±0.007 aA	1.026±0.015 bAB	1.024±0.012 aAB	1.012±0.025 bA
27	1.110±0.050 aA	1.027±0.017 aA	1.049±0.007 aA	1.031±0.014 bA	1.048±0.008 aA	1.060±0.018 abA
30	1.020±0.010 abA	0.947±0.000 aA	1.053±0.017 aA	1.033±0.016 bA	1.064±0.012 aA	1.037±0.015 abA
33	-	-	-	-	1.079±0.019 aA	1.083±0.025 abA

¹Natural diet.

²Artificial diet 1.

³Artificial diet 2.

⁴Fresh or cryopreserved eggs of *Euschistus heros* parasitized by *Telenomus podisi*.

⁵Insufficiency of numerical data to perform statistical analysis.

Table 6. Body length (mm) of male *Telenomus podisi* emerged from eggs of *Euschistus heros* reared from different diets at seven temperatures. Means followed by the same lower case letters in columns and upper case letters in rows do not differ at the 5% level.

Temperature (°C)	Males body length					
	ND ¹		AD1 ²		AD2 ³	
	Fresh ⁴ (T1)	Cryp ⁴ (T2)	Fresh (T3)	Cryp (T4)	Fresh (T5)	Cryp (T6)
15	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-
21	-	-	0.992±0.014 aA	1.012±0,029 aA	1.000±0.022 bA	1.042±0.017 abA
24	0.972±0.021 A	0.991±0.021 aA	0.982±0.014 aA	0.980±0.015 aA	1.028±0.024 abA	0.974±0.013 bA
27	-	1.085±0.055 aA	1.020±0.000 aA	-	1.020±0.000 abA	1.040±0.009 abA
30	-	0.996±0.035 aA	1.060±0.015 aA	1.070±0.000 aA	1.060±0.014 aA	1.059±0.014 aA
33	-	-	-	-	-	-

¹Natural diet.

²Artificial diet 1.

³Artificial diet 2.

⁴Fresh or cryopreserved eggs of *Euschistus heros* parasitized by *Telenomus podisi*.

⁵Insufficiency of numerical data to perform statistical analysis.

There was a significant factorial interaction between diets and temperature for *T. podisi* parasitism ($F = 4.121$; $df = 30,168$; $p < 0.001$). Overall, the thermal range from 21 to 30 °C showed the best results (Table 7), where 24 °C had better results numerically. At temperatures of 15, 18, and 21 °C, T5 (AD2 and fresh eggs) had statistically better results than the other treatments (Table 7). At other temperatures, treatments composed of artificial diets (T3, T4, T5, and T6) also showed better parasitism results, except at 30 °C. At this temperature, T4, T5, and T6 (artificial diets) and T2 (natural diet with cryopreserved eggs) had similar rates of parasitism (Table 7).

Table 7. Parasitism (%) of *Telenomus podisi* emerged from eggs of *Euschistus heros* reared from different diets under seven temperatures. Means followed by the same lower case letters in columns and upper case letters in rows do not differ at the 5% level.

Temperature (°C)	Parasitism					
	ND ¹		AD1 ²		AD2 ³	
	Fresh ⁴ (T1)	Cryp ⁴ (T2)	Fresh (T3)	Cryp (T4)	Fresh (T5)	Cryp (T6)
15	1.20±0.49 eB	0.00 dC	2.79±0.75 dB	0.19±0.20 eB	8.99±1.34 efA	0.40±0.28 eB
18	7.59±1.23 dB	0.40±0.28 cC	6.39±1.13 dB	2.40±0.69 eC	14.20±1.69 deA	0.20±0.20 eC
21	30.39±2.47 bB	18.20±1.91 aC	26.99±2.32 bB	13.59±1.65 bcC	44.79±2.99 aA	29.80±2.44 abB
24	48.40±3.11 aA	24.80±2.23 aC	40.60±2.85 aA	47.00±3.07 aA	28.39±2.38 bcBC	37.00±2.72 aAB
27	16.40±1.81 cCD	8.00±1.26bE	32.39±2.55 abAB	10.8±1.47 cdDE	37.99±2.76 abA	23.80±2.18 bcBC
30	11.59±1.52 cdC	18.80±1.94 aAB	13.19±1.62 cBC	21.19±2.06 bA	19.79±1.99 cdAB	18.00±1.90 cdABC
33	9.59±1.39 cdABC	1.20±0.49 cD	13.59±1.65 cA	7.20±1.20 dBC	5.39±1.04 fC	11.4±1.51 dAB

¹Natural diet.

²Artificial diet 1.

³Artificial diet 2.

⁴Fresh or cryopreserved eggs of *Euschistus heros* parasitized by *Telenomus podisi*.

In contrast, viability ($F = 55.5807$; $df = 6205$; $p < 0.0001$ and $F = 4.2023$; $df = 5205$; $p = 0.0012$ for temperature and diet, respectively), number of individuals per egg ($F = 18.5349$; $df = 6205$; $p < 0.0001$ and $F = 1.7163$; $df = 5205$; $p = 0.1323$), and sex ratio ($F = 19.2542$; $df = 6205$; $p < 0.0001$ and $F = 2.9260$; $df = 5205$; $p = 0.0142$) did not show a significant factorial interaction. Similar to parasitism, extreme low (15 and 18 °C) and high temperatures (33 °C) resulted in lower biological performance of the parasitoids, with better results observed in the thermal range from 21 to 30 °C (Tables 8–10). The temperature of 24 °C provided the best viability parameter, as well as parasitism rate. In terms of viability and sex ratio, the artificial diets provided better performance compared to the natural diet (Tables 8 and 10). In the number of individuals per egg parameter, the diets did not influence the results (Table 9).

Table 8. Viability (%) of *Telenomus podisi* emerged from eggs of *Euschistus heros* reared from different diets. Means followed by the same upper case letters in “Diet” and lower case in “Temperature” do not differ at the 5% level.

		Viability	
Diet		Temperature (°C)	
T1	12.33±0.038 B	15	0 d
T2	14.1±0.038 B	18	0 d
T3	22.4±0.046 AB	21	27.6±4.6 b
T4	20.5±0.049 AB	24	66.3±4.9 a
T5	28.4±0.05 A	27	19.9±3.6 b
T6	20.3±0.046 AB	30	16.7±2.6 bc
		33	3.8±2.4 cd

Table 9. Number of individuals per egg of *Telenomus podisi* emerged from eggs of *Euschistus heros* reared from different diets under seven temperatures. Means followed by the same upper case letters in “Diet” and lower case in “Temperature” do not differ at the 5% level.

Number of individuals per egg			
Diet	Temperature (°C)		
T1	0.339±0.080 A	15	0.000 c
T2	0.360±0.083 A	18	0.000 c
T3	0.606±0.131 A	21	0.777±0.08 a
T4	0.454±0.083 A	24	0.883±0.06 a
T5	0.617±0.113 A	27	0.687±0.08 a
T6	0.588±0.151 A	30	0.93±0.21 a
		33	0.083±0.05 b

Table 10. Sex ratio (Female to Male) of *Telenomus podisi* emerged from eggs of *Euschistus heros* reared from different diets under seven temperatures. Means followed by the same upper case letters in “Diet” and lower case in “Temperature” do not differ at the 5% level.

		Sex ratio	
Diet		Temperature (°C)	
T1	0.299±0.07 AB	15	0.000 b
T2	0.200±0.061 B	18	0.000 b
T3	0.414±0.071 AB	21	0.530±0.078 a
T4	0.327±0.069 AB	24	0.657±0.066 a
T5	0.442±0.088 A	27	0.538±0.082 a
T6	0.255±0.07 B	30	0.409±0.099 a
		33	0.083±0.047 b

2.4 Discussion

The interaction between parasitoid and host depends on many factors, with temperature and egg quality being among the most important parameters that influence parasitism and survival [23,24,31,32]. Temperature directly influences life process in small insects [33]. Our parasitism capacity results show an inverse relationship between temperature and survival period. As observed in most insects, the increase in temperature results in a decreased lifespan. This can be explained by increases in the insect’s metabolic rate at high temperatures and decreased metabolism at low temperatures [34,35]. Similar effects of high temperatures on survivorship and parasitism capacity were found for several other parasitoids species [34,36–40].

In the cases of applied inundative biological control programs, the parasitism capacity is more relevant than the period of time females remain alive in the field [39]. In all treatments, the highest rate of parasitism occurred in the first days (Figures 1–6). This can be explained by the ability of *T. podisi* to retain mature eggs in the ovaries or oviducts, completing oogenesis even before the adult emerges from the host egg [41].

According to the International Organization for Biological Control (IOBC) guidelines, ≥80% is accepted as a good parameter of parasitism for the genus *Trichogramma* [42]. Based on that, the goal of 80% of parasitism was not achieved in most treatments, except for T5 at 27 °C. Species, such as *T. podisi*, are unable to perform lipogenesis and depend entirely on lipid storage in the larval stage for fecundity

and lifespan in the adult stage [33,39,43,44]. In addition, since they cannot synthesize lipids in the adult stage, parasitoids are more vulnerable to temperature increases and pesticides than most pests, including the host *E. heros* [39,43,45]. Therefore, nutritional aspects are essential for the success in parasitism, and parasitoids tend to choose sources that provide greater energy return [20,46].

Our results showed that artificial diets had better parasitism rates at 15, 18, and 27 °C than treatments with natural diets. These data emphasize the importance of studies on the influence of eggs from hosts reared with artificial diets in the production of parasitoids. Possibly, eggs from artificial diets had superior nutritional quality, resulting in greater parasitism under stressful conditions (thermal extremes), which has not been reported in other studies with artificial diets that examined the biology of *T. podisi* [16,47]. Future host preference tests and field bioassays should be carried out, in addition to the analysis of egg nutrition, influenced by diet and storage.

Rearing for biological control release also depends on providing parasitoids when host eggs are deposited. The efficiency and development of *T. podisi* are temperature-dependent, allowing for some storage of adults, and the ability to increase or decrease development [24,32]. From thermal requirement data, given by the thermal constant K (degree-days), upper and lower temperature threshold ($T_{\max}$ and $T_{\min}$), and optimal temperature (T_{opt}), it is possible to estimate the influence of temperature on the parasitoid's lifespan [48,49], making it possible to optimize the mass production of natural enemies. The hosts (*E. heros*) and the parasitoids used in this bioassay originate from colonies kept in the laboratory for years, in which the hosts are reared under the same conditions as T1 (natural diet and fresh eggs). Possibly, since they are adapted to this type of diet, they needed less thermal accumulation to complete development and future studies should examine the effects of temperature on successive generations.

The host–parasitoid interaction can be influenced by associative learning over generations, where parasitoids adapt and prefer certain types of hosts due to pre-emergence conditioning established during their larval period [50–52]. *E. heros*, the preferred host for *T. podisi*, has a K of 327 degree-days [35], which is significantly higher than all treatments. This is a good indication that, in favorable situations in the field, the parasitoid will complete its cycle faster than the host, further contributing to pest management [34,53].

Values of K , $T_{\min}$, $T_{\max}$, and T_{opt} vary according to the type of host used, species of parasitoid, and adjusted model for the analyses, potentially relating our results to those of other studies [22,34,35,54–57]. Since T2 presented $T_{\min}$ of 16 °C and was composed of a natural diet (little variety of ingredients) and cryopreserved eggs, the nutritional aspect of the eggs from this diet was potentially inferior compared to the other treatments, influencing $T_{\min}$.

Quality control parameters are essential for mass rearing of insects. This is especially challenging for biological control insects that must be produced as needed to match the crop and target pest. The ability to maintain laboratory colonies and quickly produce the desired number of individuals requires the development of artificial diet, ways to store host eggs for long periods, and the ability to accelerate or slow down development. These manipulations must not impact the overall quality of the reared insects [7,23,39]. In Europe, there are quality control guidelines for more than 30 species of natural enemies according to the IOBC, but the majority are species not produced in Brazil [42]. However, these guidelines serve as a model for national quality control tests [58,59].

Based on the analysis of biotic factors, including adult size and life history, across rearing temperatures, we can assess the quality of *T. podisi* for release in the field [60], since the success of this parasitoid release depends on these quality parameters [23,39]. Even though we found significant factorial interaction between the diets and the temperatures tested, there are no expressly significant differences between body length based on the diet and cryopreservation of eggs offered to *T. podisi*. Body size may be relevant in reducing energy costs [61,62]. Larger insects may reduce movements to search for hosts, are likely to forage in a more heterogeneous environment, interacting with more species, and exhibit greater preferential prey selection than smaller individuals [61–64]. As only females are responsible for parasitism in the field and differences were found only in body length of females at 21 °C, these data can be useful to improve the success of the parasitoid in biological control programs at this temperature.

Temperature was important in the rearing of *T. podisi*, since survival was prolonged at lower temperatures. Low temperatures can reduce the insect's metabolic rate, affecting the viability of parasitized eggs, consequently preventing insect emergence [34,57,65]. The loss of turgidity of the eggs as the temperature increases can prevent

the insertion of the parasitoid ovipositor into the egg's chorion, reducing successful parasitism [39,66].

Considering the release of parasitoids in the field, these results may indicate an important factor in applied biological control programs due to increases in average global temperature, mainly in regions with high thermal amplitude (low temperatures at night and high during the day). Thermal extremes can be harmful to the survival, development, dispersion, and longevity of parasitoids, compromising the efficiency of parasitoid release and management of target pests [24]. With the increase in global temperature, our results of the upper temperature threshold are relevant for mass releases of *T. podisi* in regions with high temperatures, considering that T_{opt} ranged between 28 and 29 °C. Parasitism rates of 60% were found when *T. podisi* was reared at 27 and 30 °C, demonstrating that *T. podisi* is capable of parasitizing more than half of pentatomid eggs soon after release at higher field temperatures [39,43]. Increases in average global temperature tend to negatively affect the distribution of parasitoids more than of hosts, due to lower T_{opt} and T_{max} [54,67,68]. In an ideal scenario, delaying the development of parasitoids when field temperatures border on the upper threshold can help in the successful application of biological control. Our results can be useful for biological programs in areas with thermal ranges from 21 to 30 °C, indicating that *T. podisi* is adapted to these conditions, although field experiments must confirm our results.

The nutritional composition of the egg is also fundamental for the choice and development of the parasitoid [69]. Since AD2 is rich in different types of grains (sunflower seed and wheat germ) compared to the AD1 and the natural diet (Table 1), the *E. heros* eggs obtained from AD2 likely had a higher nutritional value than the other diets, allowing for the development of parasitoids at high temperatures (33 °C). Future nutritional analysis of diets and eggs should be performed to confirm this assumption. In addition, the production cost of each diet should be analyzed to conclude whether the shift from natural to artificial diet is beneficial.

The artificial diets, especially AD2 with fresh eggs (T5), showed better results than the natural diet, contradicting other studies in which artificial diets did not influence the evaluated parameters of *T. podisi* [16,47]. Viability and sex ratio had better results with fresh eggs than cryopreserved eggs, possibly due to small changes in the physical-nutritional characteristics caused by low temperatures, causing females to prefer fresh eggs [20]. In order to increase fitness, foraging theory predicts that parasitoids, when

searching for host eggs, evaluate and explore the energy content before parasitizing the egg [20,46,70,71]. Several studies have been carried out on the use of cryopreservation in mass rearing of egg parasitoids [11,72–75]. Although the use of liquid nitrogen to store host eggs is beneficial to maintain a stock throughout the year, our results demonstrated that cold storage affected the biological performance of *T. podisi*.

Based on our results, *T. podisi* can be mass reared for release in tropical areas. We conclude that the thermal range between 21 and 30 °C presented satisfactory daily and accumulated parasitism in all treatments tested. Similarly, the biological parameters evaluated (body length, parasitism, viability, number of individuals/egg, and sex ratio) showed that rearing temperatures between 21 and 30 °C are favorable for the development of *T. podisi*. Within this thermal range, all tested diets were favorable for the rearing of the parasitoid from the host with AD2 providing the best quality of parasitoids. As parasitism and viability presented better results at 24 °C and egg parasitoids are generally reared at 25 ± 2 °C in Brazil, we recommend 24 °C to mass rear *T. podisi* using fresh or cryopreserved *E. heros* eggs from adults provided AD2.

2.5 References

1. Bortolotto, O.C.; Pomari-Fernandes, A.; Bueno, R.C.O.F.; Bueno, A.F.; Kruz, Y.K.S.; Queiroz, A.P.; Sanzovo, A.; Ferreira, R.B. The use of soybean integrated pest management in Brazil: A review. *Agron. Sci. Biotechnol.* **2015**, *1*, 25–32. <https://doi.org/10.33158/ASB.2015v1i1p25>.
2. Panizzi, A.R. Growing Problems with Stink Bugs (Hemiptera: Heteroptera: Pentatomidae): Species Invasive to the U.S. and Potential Neotropical Invaders. *Am. Entomol.* **2015**, *61*, 203–233. <https://doi.org/10.1093/ae/tmv068>.
3. Oliveira, R.C. Utilização de *Telenomus podisi* no manejo de *Euschistus heros*. In *Controle Biológico com Parasitoides e Predadores na Agricultura Brasileira*; Parra, J.R.P., Pinto, A.S., Nava, D.E., Oliveira, R.C., Diniz, A.J.F., Eds.; Fealq: Piracicaba, Brazil, **2021**; pp. 235–247.
4. Bueno, A.F.; Carvalho, G.A.; Santos, A.C.; Sosa-Gómez, D.R.; Silva, D.M. Pesticide selectivity to natural enemies: Challenges and constraints for research and field recommendation. *Cienc. Rural* **2017**, *47*, 1–10. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160829>.
5. Bueno, A.F.; Braz, E.C.; Favetti, B.M.; França-Neto, J.B.; Silva, G.B. Release of the egg parasitoid *Telenomus podisi* to manage the Neotropical Brown Stink Bug, *Euschistus heros*, in soybean production. *Crop Protection* **2020**, *137*, 105310. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105310>.
6. Tuelher, E.S.; Silva, E.H.; Rodrigues, H.S.; Hirose, E.; Guedes, R.N.C.; Oliveira, E.E. Area-wide spatial survey of the likelihood of insecticide control failure in the neotropical brown stink bug *Euschistus heros*. *J. Pest Sci.* **2018**, *91*, 849–859. <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0949-6>.

7. van Lenteren, J.C. Controle de qualidade de agentes de controle biológico produzidos massalmente: Conhecimento, desenvolvimento e diretrizes. In *Controle Biológico de Pragas: Produção Massal e Controle de Qualidade*; Bueno, V.H.P., Ed.; Editora UFLA: Lavras, Brazil, **2000**; pp. 21–41.
8. Stecca, C.S.; Bueno, A.F.; Pasini, A.; Silva, D.M.; Andrade, K.; Zironi Filho, D.M. Impact of Inseticides Used in Soybean Crops to the Egg Parasitoid *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Platygastroidae). *Neotrop. Entomol.* **2018**, *47*, 281–291. <http://doi.org/10.1007/s13744-017-0552-9>.
9. Paz-neto, A.A.; Querino, R.B.; Margaría, C.B. Egg parasitoids of stink bugs (Hemiptera: Coreidae and Pentatomidae) on soybean and cowpea in Brazil. *Fla. Entomol.* **2015**, *98*, 929–932. <https://doi.org/10.1653/024.098.0318>.
10. Parra, J.R.P. Elaboração de programas de controle biológico: Uma visão inter e multidisciplinar. In *Controle Biológico com Parasitoides e Predadores na Agricultura Brasileira*; Parra, J.R.P., Pinto, A.S., Nava, D.E., Oliveira, R.C., Diniz, A.J.F., Eds.; Fealq: Piracicaba, Brazil, **2021**; pp. 39–54.
11. Silva, G.V.; Bueno, A.F.; Favetti, B.M.; Neves, P.M.O.J. Use of Low Temperature Storage to Preserve Host and Parasitoid to Improve the Rearing of *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Platygastroidae) on *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae). *Neotrop. Entomol.* **2019**, *48*, 126–135. <http://doi.org/10.1007/s13744-018-0609-4>.
12. Rezaei, M.; Talebi, A.A.; Fathipour, Y.; Karimzadeh, J.; Mehrabadi, M.; Reddy, G.V.P. Effects of cold storage on life-history traits of *Aphidius matricariae*. *Entomol. Exp. Appl.* **2020**, *168*, 800–807. <https://doi.org/10.1111/eea.12958>.
13. Francuski, L.; Beukeboom, L.W. Insects in production—An introduction. *Entomol. Exp. Appl.* **2020**, *168*, 422–431. <https://doi.org/10.1111/eea.12935>.
14. Gilkeson, L.A. Ecology of rearing: Quality, regulation and mass rearing. In *Ecological Interactions and Biological Control*; Andow, D.A., Ragsdale, D.A., Nyvall, R.F., Eds.; Westview Press: Boulder, USA, **1997**; pp. 139–148.
15. Gomez, V.A.; Gaona, E.F.; Arias, O.R.; Lopez, M.B.; Ocampos, O.E. Aspectos biológicos de *Piezodorus guildinii* (Westwood) (Hemiptera: Pentatomidae) criados con diferentes dietas en condiciones de laboratorio. *Soc. Entomol. Argent.* **2013**, *72*, 27–34.
16. Hayashida, R.; Bueno, A.F.; Hermel, A.O.; Hirakuri, M.H.; Silva, F.A.C.; Roggia, S. *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae) fitness on artificial diets. *J. Econ. Entomol.* **2018**, *111*, 1605–1613. <https://doi.org/10.1093/jee/toy154>.
17. Mendoza, A.C.; Rocha, A.C.P.; Parra, J.R.P. Lyophilized artificial diet for rearing the Neotropical *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae). *J. Insect Sci.* **2016**, *16*, 41. <http://doi.org/10.1093/jisesa/iew025>.
18. Cingolani, M.F.; Greco, N.M.; Liljesthröm, G.G. Cold-Storage of *Piezodorus guildinii* (Hemiptera: Pentatomidae) Eggs for Rearing *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Platygastroidae). *J. Agric. Sci. Technol.* **2015**, *17*, 1507–1516.
19. Foerster, L.A.; Doetzer, A.K. Cold storage of the egg parasitoids *Trissolcus basalis* (Wollaston) and *Telenomus podisi* Ashmead (Hymenoptera: Scelionidae). *Biol. Control* **2006**, *36*, 232–237. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.10.004>.
20. Ramos, G.S. Capacidade de Dispersão e Parâmetros Biológicos Inerentes à Criação Massal de *Telenomus podisi* Ashmead (Hymenoptera: Platygastroidae) para o Controle de Pentatomídeos-Praga em Soja. Master's thesis, São Paulo State University, Botucatu, 2020; 122p.
21. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa da Especificação de Referência. Available online: <https://www.gov.br/agricultura/pt->

- br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/produtos-fitossanitarios/arquivos-especificacao-de-referencia/INSDAn252019.especificreferDOU.pdf (accessed on 3 June 2021).
22. Pacheco, D.J.P.; Corrêa-Ferreira, B.S. Potencial reprodutivo e longevidade do parasitoide *Telenomus podisi* Ashmead em ovos de diferentes espécies de percevejos. *An. Soc. Entomol. Bras.* **1998**, *27*, 585–591. <https://doi.org/10.1590/S0301-80591998000400011>.
 23. Bouchier, R.S.; Smith, S.M. Influence of environmental conditions and parasitoid quality on field performance of *Trichogramma minutum*. *Entomol. Exp. Appl.* **1996**, *80*, 461–468. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1996.tb00960.x>.
 24. Selvaraj, S.; Ganeshamoorthi, P.; Pandiaraj, T. Potential impacts of recente climate change on biological control agentes on agro-ecosystem: A review. *Int. J. Biodivers. Conserv.* **2013**, *5*, 845–852. <http://doi.org/10.5897/IJBC2013.0551>.
 25. Elzhov, T.V.; Mullen, K.M.; Spiess, A.N.; Bolker, B. *Minpack.lm: R Interface to the Levenberg-Marquardt Nonlinear Least-Squares Algorithm Found in MINPACK, Plus Support for Bounds*; R package version 1.2-1; 2016. <https://CRAN.R-project.org/package=minpack.lm>
 26. R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*; R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria, **2013**. Available online: <https://www.R-project.org/> (accessed on 31 January 2023).
 27. Campbell, A.; Frazer, B.; Gilbert, N.; Gutierrez, A.; Mackauer, M. Temperature requirements of some aphids and their parasites. *J. Appl. Ecol.* **1974**, *11*, 431–438. <http://doi.org/10.2307/2402197>.
 28. Briere, J.F.; Pracros, P.; Le Roux, A.Y.; Pierre, J.S. A novel rate model of temperature-dependent development for arthropods. *Environ. Entomol.* **1999**, *28*, 22–29. <https://doi.org/10.1093/ee/28.1.22>.
 29. Burr, I.W.; Foster, L.E. A test for equality of variances. *Purdue Univ.* **1972**, *282*, 1–26.
 30. Shapiro, S.S.; Wilk, M.B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* **1965**, *52*, 591–61.
 31. Noldus, L.P.J.J. Semiochemicals foraging behaviour and quality of entomophagous insects for biological control. *J. Appl. Entomol.* **1989**, *108*, 425–451. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1989.tb00478.x>.
 32. Pereira, F.F.; Zanuncio, J.C.; Oliveira, H.N.; Grance, E.L.V.; Pastori, P.L.; Gava-Oliveira, M.D. Thermal requeriments and estimate number of generations of *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) in diferente Eucalyptus plantations regions. *Braz. J. Biol.* **2011**, *71*, 431–436. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842011000300012>.
 33. Huey, R.B.; Berrigan, D. Temperature, demography, and ectotherm fitness. *Am. Nat.* **2001**, *158*, 204–210. <https://doi.org/10.1086/321314>.
 34. Chaves, V.F.; Pereira, F.F.; Torres, J.B.; Da Silva, I.F.; Pastori, P.L.; Oliveira, H.N.; Costa, V.A.; Cardoso, C.R.G. Thermal Requirements of *Ooencyrtus submetallicus* (Hym.: Encyrtidae) and *Telenomus podisi* (Hym.: Platygasteridae) Parasitizing *Euschistus heros* Eggs (Hem.: Pentatomidae). *Insects* **2021**, *12*, 924. <https://doi.org/10.3390/insects12100924>.
 35. Cividanes, F.J.; Figueiredo, J.G.; Carvalho, D.R. Previsão da emergência de *Trissolcus brochymenae* (Ashmead) e *Telenomus podisi* (Ashmead) (Hymenoptera: Scelionidae) em condições de campo. *Sci. Agric.* **1998**, *55*, 1–5. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161998000100008>.

36. Maceda, A.; Hohmann, C.L.; Santos, H.R. Temperature effects on *Trichogramma pretiosum* Riley and *Trichogrammatoidea annulata* De Santis. *Braz. Arch. Biol. Technol.* **2003**, *46*, 27–32. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132003000100005>.
37. Pereira, F.F.; Barros, R.; Pratissoli, D.; Parra, J.R.P. Biologia e exigências térmicas de *Trichogramma pretiosum* Riley e *T. exiguum* Pinto & Planter (Hymenoptera: Trichogrammatidae) criados em ovos de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). *Neotrop. Entomol.* **2004**, *33*, 231–236. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2004000200014>.
38. Pinto, J.R.L.; Fernandes, A.O. Parasitism capacity of *Telenomus remus* and *Trichogramma pretiosum* on eggs of moth pests of peanut. *Bull. Insectol.* **2020**, *1*, 71–78.
39. Silva, G.V.; Bueno, A.F.; Neves, P.M.O.J.; Favetti, B.M. Biological characteristics and parasitism capacity of *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Platygasteridae) on eggs of *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae). *J. Agric. Sci.* **2018**, *10*, 210–220. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n8p210>.
40. McCalla, K.A.; Keçeci, M.; Milosavljević, I.; Ratkowsky, D.A.; Hoddle, M.S. The Influence of Temperature Variation on Life History Parameters and Thermal Performance Curves of *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae), a Parasitoid of the Asian Citrus Psyllid (Hemiptera: Liviidae). *J. Econ. Entomol.* **2019**, *112*, 1560–1574. <https://doi.org/10.1093/jee/toz067>.
41. Mills, N.J.; Kuhlmann, U. The relationship between egg load and fecundity among *Trichogramma* parasitoids. *Environ. Entomol.* **2000**, *25*, 315–324. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.2000.00260.x>.
42. van Lenteren, J.C.; Hale, A.; Klapwijk, J.N.; van Schelt, J.; Steinberg, S. Guidelines for Quality Control of Commercially Produced Natural Enemies. In *Quality Control And Production of Biological Control Agents: Theory And Testing Procedures*; van Lenteren, J.C., Ed.; CABI Publishing: Wallingford, UK, **2003**; pp. 265–303.
43. Denis, D.; Pierre, J.S.; van Baaren, J.; van Alphen, J.J.M. How temperature and habitat quality affect parasitoid lifetime reproductive success—A simulation study. *Ecol. Modell.* **2011**, *222*, 1604–1613. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.02.023>.
44. Visser, B.; Ellers, J. Lack of lipogenesis in parasitoids: A review of physiological mechanisms and evolutionary implications. *J. Insect Physiol.* **2008**, *54*, 1315–1322. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2008.07.014>.
45. Carmo, E.L.; Bueno, A.F.; Bueno, R.C.O.F. Pesticide selectivity for the insect egg parasitoid *Telenomus remus*. *Biocontrol* **2010**, *55*, 455–464. <https://doi.org/10.1007/s10526-010-9269-y>.
46. Stephens, D.W.; Krebs, J.R. *Foraging Theory*; Princeton University Press: Princeton NJ, USA, **1986**.
47. Mendoza, A.C. Desenvolvimento de Dietas Artificiais Liofilizadas para *Euschistus heros* (Fabricius, 1798), com Vistas à Produção de *Telenomus Podisi* (Ashmead, 1893) e *Trissolcus basalis* (Wollaston, 1858). Ph.D. thesis, University of São Paulo, Piracicaba, Brazil, **2012**; 112p.
48. Pomari, A.F.; Bueno, A.F.; Bueno, R.C.O.F.; Menezes-Junior, A.O. Biological characteristics and thermal requirements of the biological control agent *Telenomus remus* (Hymenoptera: Platygasteridae) reared on eggs of different species of the genus *Spodoptera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* **2012**, *105*, 73–81.
49. Mawela, K.V.; Kfir, R.; Kruger, K. Effect of temperature and host species on parasitism, development time and sex ratio of the egg parasitoid *Trichogramma*

- toidealutea* Girault (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Biol. Control* **2013**, *64*, 211–216. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.11.017>.
50. Bertin, A.; Pavinato, V.A.C.; Parra, J.R.P. Fitness-related changes in laboratory populations of the egg parasitoid *Trichogramma galloi* and the implications of rearing on factitious hosts. *Biocontrol* **2017**, *62*, 435–444. <https://doi.org/10.1007/s10526-017-9795-y>.
 51. Giunti, G.; Canale, A.; Messing, R.H.; Donati, E.; Stefanini, C.; Michaud, J.P.; Benelli, G. Parasitoid learning: Current knowledge and implications for biological control. *Biol. Control* **2015**, *90*, 208–219. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.06.007>.
 52. Haverkamp, A.; Smid, H.M. A neuronal arms race: The role of learning in parasitoid-host interactions. *Curr. Opin. Insect Sci.* **2020**, *42*, 47–54. <http://doi.org/10.1016/j.cois.2020.09.003>.
 53. Favero, K.; Pereira, F.F.; Torres, J.B.; Oliveira, N.; Kassab, S.O.; Zanuncio, J.C. Reproduction of *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) in *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) Pupae at Different Temperatures. *Fla. Entomol.* **2015**, *98*, 865–869. <https://doi.org/10.1653/024.098.0308>.
 54. Furlong, M.J.; Zalucki, M.P. Climate change and biological control: The consequences of increasing temperatures on host–parasitoid interactions. *Curr. Opin. Insect Sci.* **2017**, *20*, 39–44. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2017.03.006>.
 55. Borges-Filho, R.C.; Nava, D.E.; Polanczyk, R.A.; Marangon, R.B.; Loiacono, M. Biology of *Telenomus pachycoris* (Hymenoptera: Scelionidae), a parasitoid of eggs of *Pachycoris torridus* (Hemiptera: Scutelleridae): The effects of egg age, exposure time, and temperature. *Fla. Entomol.* **2017**, *100*, 375–379. <https://doi.org/10.1653/024.100.0238>.
 56. Braz, E.C.; Bueno, A.F.; Colombo, F.F.; Queiroz, A.P. Temperature impact on *Telenomus podisi* emergence in field releases of Unprotected and Encapsulated parasitoid pupae. *Neotrop. Entomol.* **2021**, *50*, 462–469. <https://doi.org/10.1007/s13744-021-00857-3>.
 57. Taguti, E.A.; Gonçalves, J.; Bueno, A.F.; Marchioro, S.T. *Telenomus podisi* parasitism on *Dichelops melacanthus* and *Podisus nigrispinus* eggs at different temperatures. *Fla. Entomol.* **2019**, *102*, 607–613. <https://doi.org/10.1653/024.102.0317>.
 58. van Lenteren, J.C.; Bigler, F. Quality Control of Mass Reared Egg Parasitoids. In *Egg Parasitoids in Agroecosystems with Emphasis on Trichogramma*; Consoli, F., Parra, J.R.P., Zucchi, R., Eds.; Progress in Biological Control; Springer: Dordrecht, The Netherlands, **2009**; pp. 315–340.
 59. Bertin, A.; Pinto, A.S.; Parra, J.R.P. Controle de qualidade de inimigos naturais. In *Controle Biológico com Parasitoides e Predadores na Agricultura Brasileira*; Parra, J.R.P., Pinto, A.S., Nava, D.E., Oliveira, R.C., Diniz, A.J.F., Eds.; Fealq: Piracicaba, Brazil, 2021; pp. 401–426.
 60. van Lenteren, J.C.; Bolckmans, K.; Kohl, J.; Revensberg, W.J.; Urbaneja, A. Biological control using invertebrates and microorganisms: Plenty of new opportunities. *Biocontrol* **2018**, *63*, 39–59. <https://doi.org/10.1007/s10526-017-9801-4>.
 61. Brown, J.H.; Gillooly, J.F.; Allen, A.P.; Savage, V.M.; West, G.B. Toward a metabolic theory of ecology. *Ecology* **2004**, *85*, 1771–1789. <https://doi.org/10.1890/03-9000>.

62. Woodward, G.; Ebenman, B.; Emmerson, M.; Montoya, J.M.; Olesen, J.M.; Valido, A.; Warren, P.H. Body size in ecological networks. *Trends Ecol. Evol.* **2005**, *20*, 402–409. <http://doi.org/10.1016/j.tree.2005.04.005>.
63. Henri, D.C.; Van Veen, F.J.F. Body Size, Life History and the Structure of Host–Parasitoid Networks. *Adv. Ecol. Res.* **2011**, *45*, 135–180. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386475-8.00004>.
64. Rooney, N.; McCann, K.S.; Moore, J.C. A landscape theory for food web architecture. *Ecol. Lett.* **2008**, *11*, 867–881. <http://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01193.x>.
65. McDougall, S.J.; Mills, N.J. The influence of hosts, temperature and food sources on the longevity of *Trichogramma platneri*. *Entomol. Exp. Appl.* **1997**, *83*, 195–203. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.1997.00172.x>.
66. Bueno, R.C.O.F.; Parra, J.R.P.; Bueno, A.F. Biological characteristics and thermal requirements of a Brazilian strain of the parasitoid *Trichogramma pretiosum* reared on eggs of *Pseudoplusia includens* and *Anticarsia gemmatilis*. *Biol. Control* **2009**, *51*, 355–361. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.07.006>.
67. Ris, N.; Allemand, R.; Fouillet, P.; Fleury, F. The joint effect of temperature and host species induce complex genotype-by-environment interactions in the larval parasitoid of *Drosophila*, *Leptopilina heterotoma* (Hymenoptera: Figitidae). *Oikos* **2004**, *106*, 451–456. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2004.13274.x>.
68. Spahn, R.; Lill, J.T. Higher temperatures reduce the efficacy of a key biocontrol parasitoid. *Biol. Control* **2022**, *176*, 105079. <http://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105079>.
69. Thompson, S.N. Nutrition and in vitro culture of insect parasitoids. *Annu. Rev. Entomol.* **1986**, *31*, 197–219. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.31.010186.001213>.
70. Borges, M.; Aldrich, J.R. Attractant pheromone for Nearctic stink bug, *Euschistus obscurus* (Heteroptera: Pentatomidae): Insight into a Neotropical relative. *J. Chem. Ecol.* **1994**, *20*, 1095–1102.
71. Queiroz, A.P.; Taguti, E.A.; Bueno, A.F.; Grande, M.L.M.; Costa, C.O. Host preferences of *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Scelionidae): Parasitism on eggs of *Dichelops melacanthus*, *Euschistus heros*, and *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae). *Neotrop. Entomol.* **2018**, *47*, 543–552. <https://doi.org/10.1007/s13744-017-0564-5>.
72. Lü, X.; Han, S.; Li, J.; Liu, J.; Li, Z. Effects of cold storage on the quality of *Trichogramma dendrolimi* Matsumura (Hymenoptera: Trichogrammatidae) reared on artificial medium. *Pest Manag. Sci.* **2018**, *75*, 1328–1338. <https://doi.org/10.1002/ps.5247>.
73. Paixão, M.F.; Takahashi, T.A.; Sassaki, G.L.; Foerster, L.A. The prospects for cryopreservation of noctuid eggs in the mass production of *Trichogramma* spp. *Biocontrol* **2021**, *66*, 753–764. <http://doi.org/10.1007/s10526-021-10109-3>.
74. Siam, A.; Zohdy, N.Z.M.; ElHafez, A.M.A.; Moursy, L.E.; Sherif, H.A.E.L. Effect of different cold storage periods of rearing host eggs on the performance of the parasitoid *Trichogramma evanescens* (Westwood) (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Egypt. J. Biol. Pest Control* **2019**, *29*, 34. <https://doi.org/10.1186/s41938-019-0139-3>.
75. Chen, W.; Li, Y.; Zhang, C.; Jia, F.; Zhang, M.; Wang, M.; Mao, J.; Zhang, L. Cold storage effects on biological parameters of *Telenomus remus*, a promising egg parasitoid of *Spodoptera frugiperda*, reared on *Spodoptera litura* eggs. *J. Pest Sci.* **2022**. <https://doi.org/10.1007/s10340-022-01515-2>.

CAPÍTULO 3

**RELEASE OF PUPAE AND ADULTS OF *Telenomus podisi*
(HYMENOPTERA: SCELIONIDAE) FOR THE MANAGEMENT OF *Euschistus heros* (HEMIPTERA: PENTATOMIDAE) IN SOYBEAN²****Abstract**

The brown stink bug, *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae) is one of the main pests of soybean and damages grains, reducing yield. Egg parasitoids such as *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Scelionidae) can be highly effective in attacking *E. heros* eggs and the mass release of these parasitoids in the field is a biological control strategy within the Integrated Pest Management (IPM) that can prevent the establishment of pentatomids in the crop at levels of economic damage. This study evaluated two different methods of release of *T. podisi* in soybean. The treatments compared results from the release of *T. podisi* adults fed with honey in cardboard capsules and the release of pupae of *T. podisi* in bulk and soybean without release and without pesticide application (control). For adult release, pure honey fillets were placed inside the release capsules at the beginning of adult emergence. Three aerial releases per area were carried out via drone (approximately 7,500 females/ha) distributed at 10 points per area. The average of *E. heros* male, female and nymph population, productivity and reproductive aspects of soybean, including number of pods per plant, number of grains per pod, number of grains per plant, thousand grain weight and number of damaged grains were evaluated. The average of nymphs was lower in treatments with *T. podisi* release. The evaluated soybean parameters were not influenced by the release of *T. podisi* in the treated areas, being similar to the control. The thousand grain weight of treatments with release of *T. podisi* differed from the control, with higher values in releases with fed adults compared to release of pupae. In conclusion, both release methods reduced *E. heros* numbers and damage, therefore the use of biological control with inundative release of *T. podisi*, regardless of the release method, is recommended within IPM programs, supporting production parameters and benefiting the sustainability of the area.

Keywords: biological control, integrated pest management, egg parasitoids, parasitoid distribution.

² Capítulo redigido de acordo com as normas do periódico Biological Control

3.1 Introduction

The brown stink bug, *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae) is one of the main pests of soybean (*Glycine max* L.) and lowers yield through feeding on both pods and grains (Bocatti et al., 2014). It is the most abundant species in soybean fields in the Neotropical region, which includes Brazil, Argentina and Paraguay (Bueno et al., 2015). The demand for more sustainability in crops, the low availability of active ingredients for the management of soybean pest pentatomids and the exclusive and incorrect use of pesticides, makes demands for biological control grow annually between 10 and 15% in the world (van Lenteren et al., 2018) and even more in Brazil (Parra and Coelho Jr., 2019).

Egg parasitoids, such as *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Scelionidae), even though being generalists, are highly effective in management of *E. heros* eggs, presenting 80% of parasitism in the field and limiting population increases of the pest at the beginning of its development (egg stage) (Paz-Neto et al., 2015). These wasps are 1 mm long, black in color and are reared in specialized laboratories for large-scale production, using eggs from the natural host (*E. heros*) (Bueno et al., 2012; Pacheco and Correa-Ferreira, 2000). In 2019, *T. podisi* was registered for commercial use in Brazil (Mapa, 2019), increasing the management tools for pentatomids within Integrated Pest Management (IPM) programs.

The mass release of *T. podisi* is usually carried out at the end of the soybean vegetative stage (Oliveira, 2021), in order to prevent the population of pentatomids from reaching the crop at levels of economic damage in the critical stage (reproductive stage). Because of advances in technology and the size of cultivated areas, the use of drones for the release of parasitoids has been increasing in agriculture. Parasitoids can be released from drones as pupae (eggs parasitized by *T. podisi*) or as adults. The pupal stage can be more easily manipulated in the release process, reducing labor and contributing to the homogeneous distribution of parasitized eggs in the crop (Bueno et al., 2022). However, because pupae are immobile, they may suffer greater predation or be more affected by adverse environmental conditions. The release close to the emergence of adults is a key factor for the efficiency of this management method (Bueno et al., 2022).

Alternatively, the release of adults may be more advantageous because of their ability to disperse more easily and avoid possible predators and unfavorable environmental conditions, and being able to locate shelter in the field (Pinto and Parra,

2021). It is known that parasitoids first prioritize the location of food sources and then carry out reproductive activities (parasitism) (Takasu and Lewis, 1994). Therefore, supplying a food source inside the release capsules may benefit survival and host-finding, as it reduces the insect's exposure time in the agricultural environment, but may also increase labor costs.

The lack of studies on release of different stages of *T. podisi* may limit the use of parasitoids among producers or limit its effectiveness. Thus, it is necessary to evaluate the influence of these different methods on the *E. heros* population and on soybean yield in the absence of other control methods. Therefore, we assessed in this work two release methods of *T. podisi*, comparing pupal and fed adults release, allowing us to identify effective tools to manage *E. heros* in soybean crops.

3.2 Material and methods

3.2.1 Rearing of *E. heros* and *T. podisi* in the laboratory

The parasitoids used in these experiments were reared in the laboratory of the Research Group on Integrated Pest Management in Agriculture (AGRIMIP) at the School of Agricultural Sciences (FCA/UNESP) in the municipality of Botucatu (22°50'42"S 48°26'03.9 "W). The rearing of *T. podisi* was maintained under controlled conditions of light (14:10 L:D), relative air humidity (70±5%) and temperature (25±2°C). The parasitoids were reared in *E. heros* eggs, a preferred host (Bueno et al., 2020). The rearing of *E. heros* was carried out under the same conditions at the same site of the parasitoids. The brown stink bugs were maintained on a diet consisting of green bean pods (*Phaseolus vulgaris* L.) and raw peanuts (*Arachis hypogaea* L.) in 25x25x12 cm plastic boxes, closed with voile fabric, according to the methodology adapted from Panizzi et al. (2000). Adult *T. podisi* were place along with *E. heros* eggs into three-liter plastic pots and closed with plastic film and an elastic band. Pure honey was provided as food for the adult parasitoids with the aid of a brush. Twice a week, eggs of *E. heros* were offered to *T. podisi* in the rearing units, allowing parasitism for 24 hours, before adults were removed and added to new pots to continue the rearing and obtain the necessary quantity for release in the field.

3.2.2 Release of *T. podisi* in the field

The releases of *T. podisi* were carried out in the 2021/2022 soybean crop at the experimental unit of the Fazendas de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) in São Paulo State University located in the municipality of Botucatu (22°49'24.5"S 48°25'51.8 "W). The experiment consisted of three treatments of one hectare each: area 1) release

of adult *T. podisi* in biodegradable cardboard capsules; area 2) pupae of *T. podisi* released in bulk and area 3) control treatment (without release of biological agents). For the adult treatment, pure honey was used as a food source. When the first adults began to emerge, a fillet of pure honey was deposited inside of the capsules before releasing them with the aid of a brush. To synchronize the release of adult and pupal treatments, parasitized eggs containing *T. podisi* pupae (destined for treatment 2) were placed at 22°C in Biochemical Oxygen Demand (BOD) climatic chambers to control emergence time. When the first adults began to emerge, the pupae stored at 22°C were moved to 25°C, and released into the field afterwards.

The soybean cultivar sown was Neo 610 IPRO (Neogen®) and the plants were at the same phenological stage (R4) and under the same planting conditions in all areas of the experiment. Insecticides were not applied in any area of study. In areas 1 and 2, three releases (once a week) of 7500 females each were carried out, distributed at 10 points. Aerial releases were performed with the DJI Phantom 4 Pro model drone, equipped with a dispenser for bulk release with a capacity of 200 ml of *T. podisi* pupae or a dispenser adapted for individual release of cardboard capsules containing parasitoid adults. In both areas, release occurred at a height of 30 meters and a distribution range of 25 meters, with flights carried out in the longitudinal direction of the plot to improve the distribution of pupae and adults of *T. podisi* (Carvalho et al., 2013). The releases were carried out in the morning, with the absence of strong winds, under mild temperatures and high relative humidity, allowing thermal adaptation of the parasitoids in the plots throughout the day.

3.2.3 *E. heros* field density

The averages of the male, female and nymph populations of *E. heros* in the treated areas were evaluated using the beat cloth method, with a sampling of 10 points per area. This method was performed at the same time one day before and three days after each release, except for the last evaluation that was done two days after the release because of weather conditions. Therefore, one extra sampling was made five days after the third release, totaling seven evaluations throughout the bioassay (Table 1). The beating cloth (1.0x1.4 m) was positioned horizontally below the soybean planting line, hitting the plants on the cloth so that the insects present would walk onto the cloth to be counted. In each beating, one meter of soybean plants was evaluated.

Table 1. Date of each evaluation and the respective sampling made throughout the bioassay.

Day of evaluation	Sampling
17/Feb	1 day before first release
21/Feb	3 days after first release
24/Feb	1 day before second release
28/Feb	3 days after second release
04/Mar	1 day before third release
07/Mar	2 days after third release
10/Mar	5 days after third release (extra)

3.2.4 Soybean reproductive parameters and productivity

To evaluate the reproductive parameters and productivity, 25 soybean plants from each area were collected at points distributed across the hectare, to evaluate the number of pods per plant, number of grains per pod and thousand grain weight. In addition, the number of grains damaged was determined using the tetrazolium test. For this test, the methodology by França-Neto et al. (1988; 1998) was followed, obtaining two subsamples of 50 seeds from each treatment. The seeds were soaked in water for 16 hours at 25°C until they reached about 2.5 times their initial weight. After this period, they were immersed in a tetrazolium salt solution at a concentration of 0.075%, kept in a BOD chamber at 30°C in the dark for 3 hours and then washed prior to interpretation of the results. From the color of the seeds, it is possible to identify living and dead tissues, based on the activity of dehydrogenase enzymes, allowing the identification of damage caused by pentatomids. The grains that contained whitish spots were counted as damaged. To calculate the productivity of each treatment, the number of plants per hectare and the average grain weight were also collected, using the formula (equation 01) to generate bags per hectare (Zanon et al., 2018).

$$Productivity = \left(\frac{plants}{hectare} * \frac{pods}{plant} * \frac{grains}{plant} * average\ grain\ weight \right) / 60000 \text{ (eq. 01)}$$

3.2.5 Statistical analysis

Data on *E. heros* average population, soybean reproductive parameters and productivity of treatments were submitted to exploratory analyzes to evaluate the assumptions of normality of residuals (Shapiro and Wilk, 1965), the homogeneity of variance of treatments (Bartlett, 1937) and the additivity of the model to allow the application of ANOVA. Subsequently, the means were compared by Tukey's test ($P < 0.05$) using the statistical software Minitab 19.

3.3 Results

3.3.1 *E. heros* field density

Table 2. Average of *Euschistus heros* male population throughout the bioassay. Data of 17 and 24/Feb and 04/Mar correspond to 1 day before releases. Data of 21 and 28/Feb and 07/Mar correspond to 3 and 2 days after releases. Data of 10/Mar correspond to the extra evaluation.

Treatment	Average of <i>Euschistus heros</i> male population						
	17/Feb	21/Feb	24/Feb	28/Feb	04/Mar	07/Mar	10/Mar
Area 1	0.10±0.10	0.20±0.12	0.10±0.10	0.50±0.17	0	0.30±0.15	0
Area 2	0.30±0.30	0.10±0.10	0.10±0.10	0.30±0.21	0	0	0.30±0.21
Area 3	0.40±0.22	0.40±0.22	0.20±0.13	0.40±0.27	0.20±0.13	0.50±0.22	0.30±0.15

Area 1: release of honey fed *Telenomus podisi* adults. Area 2: release of *T. podisi* pupae. Area 3: control (no release of *T. podisi* and no pesticide application).

Table 3. Average of *Euschistus heros* female population throughout the bioassay. Data of 17 and 24/Feb and 04/Mar correspond to 1 day before releases. Data of 21 and 28/Feb and 07/Mar correspond to 3 and 2 days after releases. Data of 10/Mar correspond to the extra evaluation.

Treatment	Average of <i>Euschistus heros</i> female population						
	17/Feb	21/Feb	24/Feb	28/Feb	04/Mar	07/Mar	10/Mar
Area 1	0.20±0.13	0.10±0.10	0.30±0.21	0.40±0.16 a	0.20±0.13	0.40±0.16	0.10±0.22
Area 2	0.40±0.16	0.40±0.22	0.40±0.30	0 b	0	0.20±0.13	0.10±0.28
Area 3	0.30±0.15	0.30±0.15	0.30±0.21	0.10±0.10 ab	0.30±0.15	0.40±0.16	0.30±0.63

Area 1: release of honey fed *Telenomus podisi* adults. Area 2: release of *T. podisi* pupae. Area 3: control (no release of *T. podisi* and no pesticide application).

The average of the male population ($F = 0.85$; $df = 2,29$; $P = 0.438$; $F = 0.61$; $df = 2,29$; $P = 0.469$; $F = 0.26$; $df = 2,29$; $P = 0.769$; $F = 0.52$; $df = 2,29$; $P = 0.599$; $F = 2.25$; $df = 2,29$; $P = 0.125$; $F = 2.66$; $df = 2,29$; $P = 0.088$; $F = 1.31$; $df = 2,29$; $P = 0.287$) and females ($F = 0.44$; $df = 2,29$; $P = 0.647$; $F = 0.78$; $df = 2,29$; $P = 0.469$; $F = 0.01$; $df = 2,29$; $P = 0.990$; $F = 3.55$; $df = 2,29$; $P = 0.043$; $F = 1.70$; $df = 2,29$; $P = 0.576$; $F = 0.56$; $df = 2,29$; $P = 0.576$; $F = 0.92$; $df = 2,29$; $P = 0.409$) of *Euschistus heros* corresponding respectively to the evaluations from 17/Feb to 10/Mar did not show significant differences between treatments 1, 2 and 3, with the exception of the population of females on 28/Feb, observing a significant difference between areas 1 and 2, but with area 3 (control) not differing from the others (Tables 2 and 3).

Table 4. Average of *Euschistus heros* nymph population throughout the bioassay. Data of 17 and 24/Feb and 04/Mar correspond to 1 day before releases. Data of 21 and 28/Feb and 07/Mar correspond to 3 and 2 days after releases. Data of 10/Mar correspond to the extra evaluation.

Treatment	Average of <i>Euschistus heros</i> nymph population						
	17/Feb	21/Feb	24/Feb	28/Feb	04/Mar	07/Mar	10/Mar
Area 1	0.00	0	0.00	0.40±0.16 a	0.10±0.10	2.30±0.53 ab	0.40±0.22 b
Area 2	0.10±0.10	0.50±0.50	0.60±0.60	0.80±0.60 b	0.60±0.27	1.20±0.53 b	1.10±0.28 ab
Area 3	0.00	0.10±0.10	0.10±0.10	0.90±0.43 b	0.30±0.15	5.70±1.58 a	2.20±0.63 a

Area 1: release of honey fed *Telenomus podisi* adults. Area 2: release of *T. podisi* pupae. Area 3: control (no release of *T. podisi* and no pesticide application).

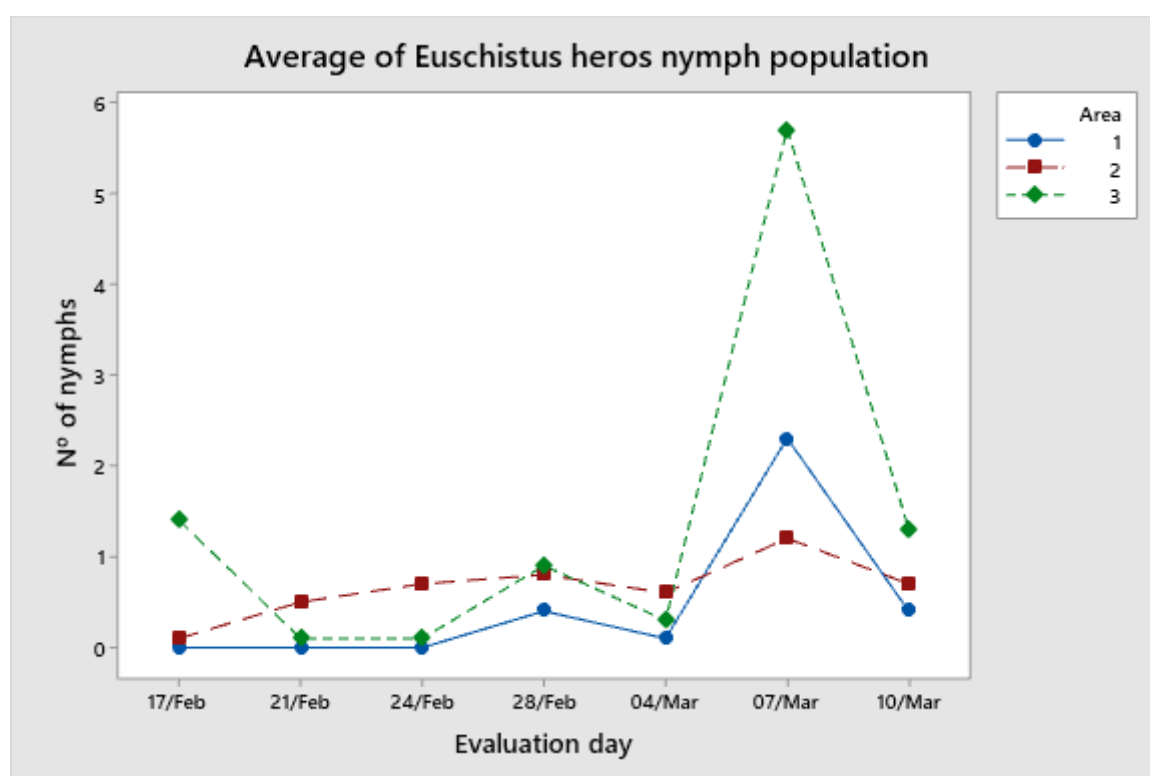


Figure 1. Average of the nymph population of *Euschistus heros* during the evaluation period. Data of 17/Feb, 24/Feb and 04/Mar correspond to 1 day before *Telenomus podisi* releases. Data of 21/Feb, 28/Feb and 07/Mar correspond to 3 and 2 days after *T. podisi* releases. Data of 10/Mar correspond to the extra evaluation. Area 1: release of honey fed *Telenomus podisi* adults. Area 2: release of *T. podisi* pupae. Area 3: control (no release of *T. podisi* and no pesticide application).

Regarding the population of nymphs, no significant differences were observed on February 17, 21 and 24 and on March 4 ($F = 1.00$; $df = 2,29$; $P = 0.381$; $F = 0.62$; $df = 2,29$; $P = 0.545$; $F = 0.64$; $df = 2,29$; $P = 0.536$; $F = 1.82$; $df = 2,29$; $P = 0.181$) (Table 4). On February 28, areas 1 and 2 statistically differed from each other ($F = 0.22$; $df = 2,29$; $P = 0.808$). On March 07, area 2 was significantly different from the control area, with area 1 not differing from the others ($F = 4.27$; $df = 2,29$; $P = 0.024$). On the

opposite, on March 10, area 2 did not differ from the others, but area 1 differed from the control treatment. ($F = 4.74$; $df = 2,29$; $P = 0.017$) (Table 4).

3.3.2 Soybean reproductive parameters and productivity

The number of pods per plant, number of grains per plant, number of grains per pod and productivity did not differ among treatments ($F = 0.89$; $df = 2,74$; $P = 0.414$; $F = 0.91$; $df = 2,74$; $P = 0.407$; $F = 1.12$; $df = 2,74$; $P = 0.331$; $F = 1.9$; $df = 2,74$; $P = 0.157$ respectively) (Table 5). However, the thousand grain weight differed among all treatments, with the area of fed adult release having the highest value ($F = 26.68$; $df = 2,29$; $P < 0.01$). The number of damaged grains also differed among treatments with both release types and the control ($F = 11.91$; $df = 2,23$; $P < 0.01$) (Table 5).

Table 5. Productivity and reproductive parameters of soybean samples collected in the areas corresponding to the treatments. Means followed by the same letter in the column do not differ at a 5% significance level.

Treatment	Parameters					
	n° pods/plant	n° grains/plant	n° grains/pod	Productivity (sc/ha)	thousand grain weight (g)	n° damage grains
Area 1 ^a	84.08±11.09	200.88±25.54	2.43±0.04	12.70±1.58	155.03±1.50 a	6.5±1.52 a
Area 2 ^a	68.36±5.78	162.88±15.36	2.35±0.05	9.50±0.91	148.26±1.67 b	5.37±0.65 a
Area 3 ^a	70.64±5.50	166.80±12.96	2.35±0.04	9.20±0.72	138.50±1.64 c	12.87±1.17 b

^aArea 1: release of honey fed *Telenomus podisi* adults. Area 2: release of *T. podisi* pupae. Area 3: control (no release of *T. podisi* and no pesticide application).

3.4 Discussion

Stink bugs usually arrive at soybean crops at the end of the vegetative stage and remain until the end of the reproductive stage (Oliveira, 2021). When released in early dates, *Telenomus podisi* shows more efficacy to control nymphs and adults as well (Filho et al., 2022). In addition, it is recommended to release at least 15,000 *T. podisi* females per hectare throughout the season, which can be divided into three or four applications (Weber et al., 2022). In our experiment, a high dose of parasitoids (22,500 per hectare) was used due to the advanced stage of the soybean (R4) and the presence of stink bugs in the field before the first release.

Even releasing late, *T. podisi* was able to keep the nymph population at low levels when compared to the control at the end of the experiment. Before reaching the adult stage, nymphs can cause damage to soybean plants, decreasing grain quality (Corrêa-Ferreira and Sosa-Gómez, 2017). Thus, our research demonstrates that biological control programs with egg parasitoids can be an useful tool even with high density of *E. heros* in soybean.

Historically, parasitoids of the genus *Trichogramma* are released in the adult phase (Pinto et al., 2003; Pinto and Parra, 2021), however, the release of pupae in bulk has showed equal or greater efficiency mainly in unfavorable environmental conditions (Afonso et al., 2017; Ivan et al., 2017; Litholdo et al., 2013; Pinto and Parra, 2021). On the other hand, there are few studies comparing different release methods of *Telenomus* parasitoids. When comparing the average population of *E. heros* and some soybean parameters, our results demonstrated that pupa and adult release are similar. Although previous feeding of adults parasitoids has not been deeply studied before with the genus *Telenomus*, the presence of sugars (honey) can contribute to increase the effectiveness of parasitoids in the field by increasing fecundity and longevity (Begum et al., 2004; Fuchsberg et al., 2007; Tian et al., 2016).

However, the labor of preparing the capsules manually by offering honey to the parasitoids one by one must be evaluated. Considering that and the parameters that we studied, the release of pupae would be more efficient and practical, especially in extended areas of soybean crops. Additionally, the capsules can improve the chance of contamination by fungi or lead to drowning of the parasitoids (Grande et al., 2021). To give more solid conclusions, further studies with cost and time of both methods should be evaluated.

Studies comparing release of adults with pupae have not previously been reported and are important to develop new techniques for biological control programs. Our work demonstrates that the release of *T. podisi* adults fed with honey inside cardboard capsules and *T. podisi* pupae in bulk in the treated areas provided the management of nymph population of *E. heros*.

The number of pods per plant, number of grains per plant, number of grains per pod and productivity of the treated areas were not influenced by the release of *T. podisi*. This could be explained by the soybean cultivar used and the agronomic management carried out in the field, which were the same in the three experimental areas. Bioassays carried out in the field can be influenced by external factors that are difficult to control and that affect the quality and productivity of the crop (Filho et al., 2022), such as high or low temperatures, rainfall, type of variety and migration of new pests. However, the thousand grain weight and the number of damaged grains were influenced, and it can be observed that in areas where the parasitoid was released the grain quality was higher. The excessive use of pesticides can act as a selection pressure, leading to pest resistance (Bueno et al., 2020; Kogan, 1998; Pimentel, 2005). Therefore, the use of biological control in order to reduce the use of synthetic products in IPM programs can be beneficial to the environment and human health, even without influencing the final productivity (Bueno et al., 2020; Meissle et al., 2010; Tang et al., 2010) and, as observed in our work, increase the quality of soybean grains.

The release of *T. podisi* to manage *E. heros* in soybean is recommended, despite no significant effect on the final productivity of the evaluated area. Reducing the application of pesticides would also be possible because the population of *E. heros* was smaller than in the control area. In addition, continuous releases throughout the seasons may increase the natural population of the parasitoid, further contributing to the management of target pests (Godoy; Ávila; Arce, 2007; Shields et al., 2019).

3.5 References

- Afonso, V.S., Oliveira, A.J.M.B., Araújo Jr., L.P., Santos, A.J.P.S., Carneiro, R.P., Pinto, A.S., 2017. Comparação entre liberação de pupas e adultos de *Trichogramma pretiosum* para controle de ovos de *Spodoptera frugiperda* em milho. Simpósio de Controle Biológico, Ribeirão Preto: FCAV–Unesp/ Esalq–USP.
- Bartlett, M.S., 1937. Properties of sufficiency and statistical tests. Proc. R. Soc. Lond. 160, 268–282. <https://doi.org/10.1098/rspa.1937.0109>.
- Begum, M., Gurr, G.M., Wratten, S.D., Nicol, H.I., 2004. Flower color affects tri-trophic-level biocontrol interactions. Biol. Control. 30, 584–590. <http://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2004.03.005>.

- Bocatti, C.R., Lorini, I., Quirino, J.R., Rosa, E.E., Corrêa-Ferreira, B.S., Oliveira, M.A., 2014. Defeitos da classificação comercial da soja devido a infestação de percevejos na lavoura e sua evolução no armazenamento. Conferência brasileira de pós-colheita, Maringá. Londrina: Abrapos.
- Bueno, A.F., Braz, E.C., Favetti, B.M., França-Neto, J.B., Silva, G.V., 2020. Release of the egg parasitoid *Telenomus podisi* to manage the Neotropical Brown Stink Bug, *Euschistus heros*, in soybean production. J. Crop Prot. 137, 7. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105310>.
- Bueno, A.F., Corrêa-Ferreira, B.S., Bianco, R., Roggia, S., 2015. Controle de percevejos em soja e milho. Revista Cultivar. 196, 4–5.
- Bueno, A.F., Parra, J.R.P., Colombo, F.C., Colmenarez, Y.C., Narde, B.V.F., Pereira, F.F., 2022. Manejo de pragas com parasitoides, in: Meyer, M.C., Bueno, A.F., Mazaro, S.M., Silva, J.C. (Eds.), Bioinsumos na cultura da soja. Brasília: Embrapa Soja, pp. 417–434.
- Bueno, A.F., Sosa-Gomez, D.R., Côrrea-Ferreira, B.S., Moscardi, F., Bueno, R.C.O.F., 2012. Inimigos naturais das pragas da soja, in: Hoffmann-Campo B.C., Côrrea-Ferreira B.S., Moscardi F. (Eds), Soja: Manejo Integrado de Insetos e outros Artrópodes-Praga. Embrapa, Brasília, DF, pp. 493–630.
- Carvalho, F.K., Antuniassi, U.R., Mota, A.A.B., Chechetto, R.G., Gandolfo, U.D., 2013. Influência de adjuvantes de calda no depósito em aplicações aéreas e terrestres. Energia na agricultura. 28:215–221.
- Corrêa-Ferreira, B.S., Sosa-Gómez, D.R., 2017. Percevejos e o Sistema de Produção Soja/Milho. Documentos, n. 397, Embrapa Soja, p. 98.
- Filho, J.C.A.P., Almeida, W.S.M., Gladenucci, J., Zachrisson, B., Oliveira, R. C., 2022. Efficacy of *Telenomus podisi* Ashmead, 1893 (Hymenoptera: Platygasteridae) release for the control of *Euschistus heros* (Fabricius, 1794) (Hemiptera: Pentatomidae). Idesia (Arica). 40, 77–86.
- França-Neto, J.B., Krzyzanowski, F.C., Costa, N.P., 1998. The tetrazolium test for soybean seeds. EMBRAPA-CNPSO. 71 p.
- França-Neto, J.B., Pereira, L.A.G., Costa, N.P., Krzyzanowski, F.C., Henning, A.A., 1988. Metodologia do teste de tetrazólio em semente de soja. EMBRAPA-CNPSO. 58 p.
- Fuchsberg, J.R., Yong, T.H., Losey, J.E., Carter, M.E., Hoffmann, M.P., 2007. Evaluation of corn leaf aphid (*Rhopalosiphum maidis*; Homoptera: Aphididae) honeydew as a food source for the egg parasitoid *Trichogramma ostrinae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Biol. Control. 40, 230–236. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2006.10.009>.
- Godoy, K. B., Ávila, C. J., Arce, C. C. M., 2007. Controle Biológico de Percevejos Fitófagos da Soja na Região de Dourados, MS. Embrapa Agropecuária Oeste.
- Grande, M.L.M., Queiroz, A.P., Gonçalves, J., Hayashida, R., Ventura, M.U., Bueno, A.F., 2021. Impact of Environmental Variables on Parasitism and Emergence of *Trichogramma pretiosum*, *Telenomus remus* and *Telenomus podisi*. Neotrop. Entomol. 50, 605-614. <http://10.1007/s13744-021-00874-2>.

Ivan, I.A.F., Alexandre, N.O., Stoppa, N.S., Oliveira, A.J.M.B., Silva, K.R.E., Pinto, A.S., 2017. Estratégias de liberação de pupas e adultos de *Trichogramma pretiosum* para controle de ovos de *Spodoptera frugiperda* em milho. Congresso Brasileiro de Fitossanidade, Uberlândia, FCAV–Unesp.

Kogan, M., 1998. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. *Annu. Rev. Entomol.* 43, 243–270. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.43.1.243>.

Leatemia, J.A., Laing, J.E., Corrigan, J.E., 1995. Effects of adult nutrition on longevity, fecundity, and offspring sex ratio of *Trichogramma minutum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Can. Entomol.* 127, 245–254. <https://doi.org/10.4039/Ent127245-2>.

Litholdo, M.G., Arroyo, B.M., Pinto, A.S., Vasconcelos, G.R., Rossi, M.M., 2013. Comparação entre a liberação de pupas e adultos de *Trichogramma galloi* no controle de *Diatraea saccharalis* em cana-de-açúcar. Simpósio de Controle Biológico, Bonito, Embrapa/UFGD.

Luiz, C.B.F., Magro, S.R., 2007. Controle biológico das pragas da espiga, sobre parâmetros qualitativos e quantitativos na cultura do milho de safrinha em Ubiratã. *Campo Digital.* 2, 13–21.

Lund, H.O., 1934. Some temperature and humidity relations of two races of *Trichogramma minutum* Riley (Hym. Chalcididae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 27, 324–340. <https://doi.org/10.1093/aesa/27.2.324>. Mapa–Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2019. ISSN 1677-7042: Instrução normativa da especificação de referência. *Diário Oficial da União*, 3 p.

Meissle, M., Mouron, P., Musa, T., Bigler, F., Pons, X., Vasileiadis, V.P., Otto, S., Antichi, D., Kiss, J., Pálkás, Z., Dorner, Z., van der Weide, R., Groten, J., Czembor, E., Adamczyk, J., Thibord, J.B., Melander, B., Nielsen, G.C., Poulsen, R.T., Zimmermann, O., Vershwele, A., Oldenburg, E., 2010. Pest, pesticides use and alternative options in European maize production: current status and future prospects. *J. Appl. Entomol.* 134, 357–375. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2009.01491.x>.

Oliveira, R.C., 2021. Utilização de *Telenomus podisi* no manejo de *Euschistus heros*, in: Parra, J.R.P., Pinto, A.S., Nava, D.E., Oliveira, R.C., Diniz, A.J.F. (Eds.), *Controle Biológico com Parasitoides e Predadores na Agricultura Brasileira*. Fealq, Piracicaba, pp. 235–247.

Parra, J.R.P., Coelho Jr., A., 2019. Applied Biological Control in Brazil: From Laboratory Assays to Field Application. *J. Insect Sci.* 19, 1–6. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iey112>.

Pacheco, D.J.P., Corrêa-Ferreira, B.S., 2000. Parasitismo de *Telenomus podisi* Ashmead (Hymenoptera: Scelionidae) em populações de percevejos pragas da soja. *An. Soc. Entomol. Bras.* 29, 295–302. <https://doi.org/10.1590/S0301-80592000000200011>.

Panizzi, A.R., Parra, J.R.P., Santos, C.H., Carvalho, D.R., 2000. Rearing the southern green stink bug using artificial dry diet and artificial plant. *Pesq. Agropec. Bras.* 35, 1709–1715. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000900002>

- Paz-Neto, A.A., Querino, R.B., Margaría, C.B., 2015. Egg parasitoids of stink bugs (Hemiptera: Coreidae and Pentatomidae) on soybean and cowpea in Brazil. Fla. Entomol, 98, 929–932. <http://dx.doi.org/10.1653/024.098.0318>.
- Pimentel, D., 2005. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. Environ. Dev. Sust. 7, 229–252. <http://doi.org/10.1007/s10668-005-7314-2>.
- Pinto, A.S., Parra, J.R.P., 2021. Tecnologia de liberação de parasitoides e predadores, in: Parra, J.R.P., Pinto, A.S., Nava, D.E., Oliveira, R.C., Diniz, A.J.F. (Eds.), Controle Biológico com Parasitoides e Predadores na Agricultura Brasileira. Fealqs, Piracicaba, pp. 427–477.
- Pinto, A.S., Parra, J.R.P., Oliveira, H.N., Arrigoni, E.B., 2003. Comparação de técnicas de liberação de *Trichogramma galloi* Zucchi (Hymenoptera: Trichogrammatidae) para o controle de *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae). Neotrop. Entomol. 32, 311–318. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2003000200018>.
- Shapiro, S.S., Wilk, M.B., 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika. 52, 591–611. <https://doi.org/10.2307/2333709>.
- Shields, M.W., Johnson, A.C., Pandey, S.C.R., Chang, M.G., Wratten, S.D., Gurr, G.M., 2019. History, current situation and challenges for conservation biological control. Biol. Control. 131, 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.12.010>.
- Smith, S.M., Hubbes, M., Carrow, J.R., 1986. Factors affecting inundative releases of *Trichogramma minutum* Ril. against the spruce budworm. J. Appl. Entomol. 101, 29–39. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1986.tb00830.x>.
- Takasu, K., Lewis, W.L., 1994. Importance of Adult Food Sources to Host Searching of the Larval Parasitoid *Microplitis croceipes*. Biol. Control. 5, 25–30. <https://doi.org/10.1006/bcon.1995.1003>.
- Tang, S., Tang, G., Cheke, R.A., 2010. Optimum timing for integrated pest management: Modeling rates of pesticides application and natural enemy releases. J. Theor. Biol. 264, 623–638. <http://doi.org/10.1016/j.jtbi.2010.02.034>.
- Tian, J., Wang, G., Romeis, J., Zheng, X., Xu, H., Zang, L., Lu, Z., 2016. Different Performance of Two *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) species feeding on sugars. Environ. Entomol. 45, 1316–1321. <http://doi.org/10.1093/ee/nvw106>.
- van Lenteren, J.C., Bolckmans, K., Köhl, J., Ravensberg, W.J., Urbaneja, A., 2018. Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. BioControl. 63, 39–59. <https://doi.org/10.1007/s10526-017-9801-4>.
- Weber, I.D., Garcia, A.G., Bueno, A.F., Oliveira, R.C., Godoy, W.A.C., 2022. Release strategies of *Telenomus podisi* for control of *Euschistus heros*: a computational modeling approach. Pest Manag. Sci. 78, 4544–4556. <http://doi.org/10.1002/ps.7074>.
- Zanon, A.J., Silva, M.R., Tagliapietra, E.L., Cera, J.C., 2018. Ecofisiologia da soja – Visando altas produtividades, ed. 1, 432 p.

CAPÍTULO 4

EFEITO DA LIBERAÇÃO DE *Telenomus podisi* ASHMEAD (HYMENOPTERA: SCELIONIDAE) NO MANEJO DE OVOS DE PENTATOMÍDEOS-PRAGA E NA MORFOLOGIA DE PLANTAS DE SOJA

RESUMO

O controle biológico aplicado, que integra o Manejo Integrado de Pragas (MIP), busca a utilização de inimigos naturais com a finalidade de manter a densidade populacional de pragas abaixo do nível de dano econômico. O parasitoide de ovos *Telenomus podisi* Ashmead, 1893 (Hymenoptera: Scelionidae) é utilizado em lavouras de soja como ferramenta de manejo de ovos de pentatomídeos-praga, em especial *Euschistus heros* (Fabricius, 1798) (Hemiptera: Pentatomidae), praga-chave na cultura que causa diversos danos às plantas, impactando a qualidade e produtividade final. Esse trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da liberação massal de *T. podisi* na população de pentatomídeos em comparação com área tratada sob manejo convencional, utilizando-se produtos fitossanitários sintéticos, e área sem manejo químico ou biológico. Avaliou-se também parâmetros morfológicos da soja. O experimento foi realizado na Fazenda Santa Fé, no município de Pardinho, SP, na safra de soja 2021/2022. Foram realizadas três liberações com intervalos de sete dias, na dose de 6500 indivíduos por hectare através do drone modelo DJI Phantom 4 Pro. A partir das avaliações de pano-de-batida, nenhuma espécie de pentatomídeo foi encontrada na área. A área tratada com manejo convencional e a área com liberação de parasitoides possuíram melhores parâmetros de número de vagens por planta e número de grãos por planta. Os resultados indicam e reforçam a importância de integrar diferentes métodos de manejo nas lavouras, demonstrando que a utilização do controle biológico aplicado ao longo das safras pode aumentar a população de inimigos naturais e, conseqüentemente, reduzir a densidade de pragas, auxiliando na sustentabilidade e no menor uso de produtos químicos.

Palavras-chave: controle biológico, parasitoides, sustentabilidade, manejo integrado de pragas

ABSTRACT

The applied biological control, which integrates the Integrated Pest Management (IPM), is based on the use of natural enemies in order to maintain the population density of pests below the level of economic damage. The egg parasitoid *Telenomus podisi* Ashmead, 1893 (Hymenoptera: Scelionidae) is used in soybean crops as a tool to manage pentatomid pest eggs, especially *Euschistus heros* (Fabricius, 1798) (Hemiptera: Pentatomidae), the major pest in soybean that causes several damages to the plants, impacting the final quality and productivity. This work aimed to evaluate the effect of the mass release of *T. podisi* on the pentatomid population in comparison with an area treated under conventional management using pesticides and an area without chemical or biological management. Soybean morphological parameters were also evaluated. The experiment was carried out at Fazenda Santa Fé, in the municipality of Pardinho, SP, in the 2021/2022 soybean crop. Three releases were carried out with intervals of seven days, at a dose of 6500 individuals per hectare using the drone model DJI Phantom 4 Pro. From the beating cloth evaluations, no species of pentatomid was found in the area. The area treated with conventional management and the area with release of parasitoids had better parameters of number of pods per

plant and number of grains per plant. The results indicate and reinforce the importance of integrating different management methods in the crops, demonstrating that the use of biological control applied throughout the years can increase the population of natural enemies and consequently reduce the density of pests, allowing sustainability and less use of pesticides.

Keywords: biological control, parasitoids, sustainability, integrated pest management

4.1 INTRODUÇÃO

Com a expansão das áreas cultivadas de soja, proporcionada pelo aumento da demanda por alimentos, aumenta-se a necessidade de controlar as principais pragas do sistema de produção. O grupo dos pentatomídeos-praga causam diversos danos diretos e indiretos, comprometendo o desempenho e produtividade da soja, sendo o percevejo-marrom, *Euschistus heros* (Fabricius, 1798) (Hemiptera: Pentatomidae), praga-chave na cultura (BUENO et al., 2015). Por serem insetos sugadores, são capazes de consumir o conteúdo vegetal e causar danos severos aos grãos, causando má formação, grãos chochos e enrugados, reduzindo a qualidade final. Indiretamente, podem comprometer morfológicamente as folhas ao injetar toxinas e atrasar a maturação (soja-louca), dificultando a colheita da lavoura e causando quedas na produtividade (BOCATTI et al., 2014), além de facilitar a entrada de microrganismos prejudiciais à cultura (KRZYZANOWSKI; FRANÇA-NETO; HENNING, 2018).

A utilização de inseticidas como método de controle de pragas é frequente nas lavouras de soja e, quando utilizados sem posicionamento técnico, podem acarretar diversos malefícios, tanto ao produtor quanto ao ambiente, como a seleção de populações resistentes de pragas, eliminação de inimigos naturais, toxicidade ao solo, alimentos e ao homem. Entre os produtos registrados, encontram-se os organofosforados, piretroides e neonicotinoides (ANVISA, 2023). Devido à restrita disponibilidade de princípios ativos com modos de ação distintos, a rotação do uso e o adequado manejo da resistência são desfavorecidos (BELO et al., 2012; BUENO et al., 2011). Sendo assim, o Manejo Integrado de Pragas (MIP) é fundamental nos sistemas agrícolas, a fim de integrar diferentes táticas de manejo de forma harmoniosa, visando a sustentabilidade e biodiversidade da área sem comprometer a produção, principalmente quando comparada ao uso exclusivo de controle químico, o qual deve ser usado respeitando-se o nível de controle das pragas e o limite de aplicações, utilizando-se produtos recomendados e registrados (MENTEN et al., 2011).

O controle biológico, um dos pilares do MIP, baseia-se no conceito de “fenômeno natural que consiste na regulação do número de plantas e animais por inimigos naturais, os quais constituem os agentes de mortalidade biótica” (PARRA et al., 2002). Parasitoides de ovos, como *Telenomus podisi* Ashmead, 1893 (Hymenoptera: Scelionidae), são macrorganismos eficazes em controlar percevejos fitófagos, apresentando 80% de parasitismo em campo, podendo impedir o desenvolvimento do ciclo biológico natural da praga-alvo (*E. heros*) (PAZ-NETO et al., 2015). Em 2019, houve o registro comercial desse parasitoide para utilização no Brasil (MAPA, 2019), aumentando as ferramentas de manejo desse percevejo dentro de programas de MIP.

A liberação de *T. podisi* em soja é, geralmente, realizada na fase de pupa devido às facilidades de mecanização do processo, que reduz mão-de-obra e os custos operacionais envolvidos (PINTO & PARRA, 2021). As liberações são feitas em faixas ao redor das áreas agrícolas, pois os percevejos (hospedeiros do parasitoide) entram pelas bordas da área e vão se dispersando na cultura (OLIVEIRA, 2021). Como um ovo parasitado por *T. podisi* leva cerca de duas semanas para dar origem a novos adultos, recomenda-se iniciar as liberações uma semana antes do florescimento, após detecção dos indivíduos nas amostragens. A dose recomendada de 6500 a 7000 parasitoides por hectare é suficiente para infestações de até 400 mil ovos de *E. heros* por hectare (WEBER et al., 2022). Porém, tão importante quanto a dose, a frequência de liberação deve ser levada em conta, sendo necessárias no mínimo três liberações a partir do momento de ocorrência da praga (OLIVEIRA, 2021). Liberar com maior frequência e com menos parasitoides em cada liberação é mais eficiente, devido ao sucessivo fornecimento de parasitoides no campo, sendo que a maior capacidade de parasitismo das fêmeas ocorre nos primeiros dias (BUENO et al., 2010; PACHECO & CORRÊA-FERREIRA, 1998; PRATISSOLI et al., 2004).

Diante disso, o avanço em estudos sobre a dinâmica de ação de *T. podisi* a campo para o manejo de ovos de pentatomídeos pode contribuir na elaboração de programas de controle biológico mais assertivos e eficazes, permitindo um aumento no uso deste parasitoide entre os produtores. Portanto, esse trabalho teve como objetivo avaliar a eficácia de controle de pentatomídeos-praga na cultura da soja a partir de liberações inundativas de *T. podisi*, bem como a influência das liberações em parâmetros morfológicos e na sanidade de grãos de soja.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Obtenção dos insetos

As criações de *E. heros* e *T. podisi* foram realizadas no Laboratório do Grupo de Pesquisa em Manejo Integrado de Pragas na Agricultura – AGRIMIP, localizado no Departamento de Proteção Vegetal da Faculdade de Ciências Agronômicas, FCA/UNESP, Campus de Botucatu (22°50'42"S 48°26'03.9 "W), mantidos em condições controladas de luz (14 horas de fotofase), umidade relativa do ar (70±10%) e temperatura (25±2 °C).

4.2.2 Manutenção da criação estoque de *E. heros*

A fim de se obter volumes suficientes de ovos para a criação de *T. podisi* e posterior liberação do parasitoide em campo, os adultos de *E. heros* foram mantidos em gaiolas retangulares de plástico transparentes (25 x 25 x 12 cm) com tampa revestida por tecido tipo *voile* para permitir a ventilação e troca de gases provenientes da respiração dos insetos. O fundo da gaiola foi coberto por papel filtro, adicionando-se dieta natural por cima, composta por vagens de feijão frescas (*Phaseolus vulgaris* L.) e amendoim (*Arachis hypogaea* L.). Oito a dez vagens de feijão e uma placa plástica de Petri (90 mm de diâmetro) contendo grãos de amendoim foram fornecidas aos insetos. Em cada gaiola, foi colocada uma placa plástica (60 mm de diâmetro) contendo algodão embebido em água filtrada, juntamente de copos plásticos fechados com tampa contendo água filtrada e uma tira de algodão úmido para o fornecimento de umidade e água aos insetos.

As gaiolas com adultos tinham a densidade populacional de, aproximadamente, 100 casais. Foram oferecidos três recortes de tecido de algodão cru de 20 x 5 cm, fixados nas laterais no encaixe da tampa, como substrato para cópula, oviposição e caminamento, com as posturas retiradas a cada 48 horas e colocadas em cápsulas de plástico (60 mm de diâmetro), com aproximadamente 1 mL de ovos por cápsula para a eclosão das ninfas.

A manutenção da criação era realizada três vezes por semana, trocando-se as vagens e os amendoins e retirando-se insetos mortos e exúvias. A partir do segundo ínstar, as ninfas eram alocadas em gaiolas de plástico de mesma dimensão das citadas anteriormente, onde eram oferecidas as vagens e, a partir do terceiro ínstar, os amendoins. Atingindo a fase adulta, eram transferidas para outra gaiola, dando continuidade à criação.

4.2.3 Criação estoque de *T. podisi*

Para a manutenção da criação estoque de *T. podisi*, aproximadamente 5000 ovos da criação estoque de *E. heros* foram colados com cola branca atóxica (tipo escolar) em cartelas retangulares confeccionadas em papel cartão (8 x 10 cm) e acondicionadas em potes de plástico de três litros vedados com filme plástico do tipo PVC e elástico, juntamente com fêmeas de *T. podisi* recém-emergidas (≤ 24 horas) e copuladas, permitindo o parasitismo por cerca de 7 dias. Após esse período, as cartelas com os ovos foram retiradas e transferidas para um novo pote até o momento da emergência, realizando-se este procedimento uma vez por semana. Foi oferecido mel puro como fonte de alimento para os parasitoides na lateral dos potes plásticos.

4.2.4 Liberação de *T. podisi* em soja para o manejo de *E. heros*

As liberações de *T. podisi* foram conduzidas na Fazenda Santa Fé, localizada no município de Pardinho, São Paulo (23°01'38,4"S 48°23'56,3"W) na safra de soja 2021/2022.

A área de experimento compreendeu ao todo 115 hectares de soja, correspondendo aos tratamentos: (1) 50 hectares tratados a partir do manejo convencional da fazenda (testemunha) representado por pulverizações de produtos fitossanitários sintéticos; (2) 15 hectares sem aplicação de produtos fitossanitários sintéticos e biológicos para manejo de percevejos; (3) 50 hectares com liberações de *T. podisi* (Tabela 1).

Tabela 1. Dados agrônômicos das cultivares de soja semeadas nas áreas correspondentes aos tratamentos 1, 2 e 3.

Tratamento	Aplicação/liberação	Cultivar	Plantio	Emergência	Florescimento
1	Produtos sintéticos (manejo convencional)	BMX POTENCIA RR	02/nov	07/nov	07/jan
2	Sem aplicação ou liberação	NS 5959 IPRO	22/out	27/out	21/dez
3	Liberação de <i>Telenomus podisi</i>	MS 5917 IPRO	16/out	21/out	28/dez

A área 3 foi dividida em 3 subáreas para realizar a liberação homogênea dos parasitoides, correspondendo a 21, 19 e 10 hectares. Foram realizadas três liberações espaçadas em sete dias conforme recomendação adaptada do Ministério

da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2019) através de um drone modelo DJI Phantom 4 Pro equipado com um *dispenser* para liberação a granel com capacidade de 200 ml de ovos de *E. heros* parasitados por *T. podisi*. Devido aos parâmetros biológicos de *T. podisi* (Tabela 2), o volume de liberação em cada subárea foi de 35 ml de pupas de *T. podisi* por hectare, a fim de se obter a dose de 6500 indivíduos por hectare (Mapa, 2019). A quantidade de ovos parasitados liberados em cada hectare foi medida através de uma proveta graduada, colocando-as dentro de cápsulas de papelão biodegradável, dando sequência à liberação via drone. Após a calibração, a liberação foi realizada de acordo com a programação do software do drone, seguindo a área mapeada através do GPS (CARVALHO et al., 2013). As três liberações foram feitas sob condições de baixa intensidade solar e ausência de chuvas, a partir do estágio reprodutivo R1, geralmente marcado pela incidência dos primeiros pentatomídeos em campo (OLIVEIRA, 2021).

Tabela 2. Parâmetros biológicos de *Telenomus podisi* obtidos da criação estoque destinados à liberação em campo.

Parâmetro biológico	Índice
Parasitismo	60,96%
Viabilidade	63,97%
Razão sexual	0,81
Número de indivíduos por ovo	0,61

4.2.5 Avaliações dos bioensaios de campo

A influência da liberação de *T. podisi* no manejo de pentatomídeos foi avaliada a partir do monitoramento pelo pano-de-batida (1 x 1 m), contando-se os indivíduos presentes e sendo realizada 2 dias antes de cada liberação e 2, 4 e 6 dias depois das liberações em 25 pontos distribuídos pelos hectares. Além disso, os parâmetros morfológicos da soja também foram analisados, coletando-se 50 plantas de cada área para avaliar o número de vagens por planta, número de grãos por planta, número de grãos por vagem e peso de mil grãos.

A sanidade das sementes via teste Tetrazólio também foi avaliada (FRANÇA-NETO & KRZYZANOWSK, 2018) obtendo-se duas subamostras de 50 sementes de cada tratamento. As sementes foram embebidas em água por 16 horas a 25°C até atingirem cerca de 2,5 vezes seu peso inicial. Após esse período, foram imersas em solução de sal de tetrazólio na concentração de 0,075%, mantidas em câmara de

Demanda Bioquímica de Oxigênio (BOD) a 30°C no escuro por 3 horas e posteriormente lavadas em água corrente. A coloração das sementes indica a diferenciação de tecidos vivos e mortos devido à atividade de enzimas desidrogenases, possibilitando a interpretação dos resultados de grãos danificados (manchas e pontos esbranquiçados) e grãos sadios (sem pontuações).

Ao final do experimento, todos os dados obtidos foram submetidos às análises exploratórias pelo software Minitab 19 para avaliar as pressuposições de normalidade dos resíduos (SHAPIRO & WILK, 1965), a homogeneidade de variância dos tratamentos (BARTLETT, 1937) e a aditividade do modelo para permitir a aplicação da ANOVA. Posteriormente, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação à densidade populacional de pentatomídeos avaliada através do monitoramento com pano-de-batida, não foram observados indivíduos de nenhuma espécie nos três tratamentos avaliados. Foi possível observar poucos lepidópteros nas avaliações, não havendo indivíduos suficientes para análises estatísticas.

Ao longo dos últimos anos, diversos estudos e bioensaios com inimigos naturais, especialmente parasitoides de ovos das espécies *Trichogramma galloi* (Zucchi, 1988) (Hymenoptera: Trichogrammatidae), *Trichogramma pretiosum* (Riley, 1879) (Hymenoptera: Trichogrammatidae), *Telenomus podisi* e *Telenomus remus* (Nixon, 1937) (Hymenoptera: Scelionidae) foram realizados nas lavouras de soja e milho da Fazenda Santa Fé, local dos experimentos deste trabalho (FILHO et al., 2022). Portanto, possivelmente as populações de inimigos naturais vêm aumentando na área, reduzindo naturalmente a população de pragas-chave, como percevejos e lagartas. Isso pode explicar a não incidência destes insetos no campo ao longo das avaliações. Estudos futuros devem ser realizados para obter o levantamento populacional de inimigos naturais na área, a fim de entender a dinâmica de parasitoides com a presença de pragas naquela região.

Tratando-se dos parâmetros reprodutivos das amostras de soja coletadas de cada área, foi possível observar que a área 1 (manejo convencional com produtos fitossanitários) e a área 3 (liberação de *T. podisi*) obtiveram melhores resultados em número de vagens por planta ($F: 10,16$; $P < 0,01$) e número de grãos por planta ($F: 7,41$; $P < 0,01$), não diferenciando entre si (Tabela 3). Não houve diferenças significativas entre os tratamentos em relação ao número de grãos por vagem ($F: 1,92$;

P:0,15). Não foram observados grãos danificados, sendo as amostras compostas 100% por grãos sadios. Somente no parâmetro peso de mil grãos a área 2 apresentou resultados semelhantes à área 3 (F: 20,48; P<0,01) (Tabela 3).

Tabela 3. Parâmetros morfológicos da soja avaliados a partir de amostras coletadas as áreas tratadas na Fazenda Santa Fé.

Tratamento	nº vagens/planta	nº grãos/planta	peso mil grãos
1	54,64±2,5 a	133,38±6,4 a	17,93±0,12 a
2	46±3,5 b	112,3±8,5 b	16,63±0,11 b
3	64,3±3,5 a	150±8,4 a	17,03±0,19 b

Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam ao nível de 5% de significância.

Tratamento 1: manejo convencional (produtos fitossanitários sintéticos); Tratamento 2: área sem aplicação de produtos fitossanitários sintéticos ou biológicos; Tratamento 3: liberação de *Telenomus podisi*.

Como não foram constatadas pragas-chave da parte aérea da soja em grandes quantidades em nenhum tratamento (lepidópteros e percevejos), os parâmetros morfológicos da soja possivelmente sofreram influência do tipo de cultivar (Tabela 1) e manejo agrônômico adotado em cada área (época de semeadura, adubação e outros tratos culturais). A área 2 não recebeu aplicação de produtos fitossanitários para manejo de pentatomídeos ao longo da safra. É comum que produtores aproveitem o mesmo equipamento agrícola para realizar misturas de tanque com diversos produtos químicos, facilitando a aplicação ao reduzir mão-de-obra, gasto de combustível e a entrada de maquinário na lavoura (GAZZIERO, 2015). A mistura de fertilizantes foliares com outros produtos é ainda mais comum, por não alterarem o efeito residual e não gerarem contaminação do solo (MINATO, 2019). Provavelmente, a menor aplicação de produtos na área 2 pode ter influenciado nos resultados, diferenciando-a das demais. Além disso, experimentos realizados no campo sofrem diversas influências externas incapazes de controlar, como a migração de pragas, inimigos naturais e deriva de produtos químicos de áreas vizinhas e a incidência de chuvas ou altas temperaturas, afetando a população final dos insetos (BUENO et al., 2020; FILHO et al., 2022).

Os resultados desse trabalho afirmam e reforçam a relevância do Manejo Integrado de Pragas (MIP) nas áreas agrícolas, começando, primeiramente, com o monitoramento das pragas, a fim de não realizar a aplicação de produtos químicos ou mesmo a liberação de inimigos naturais de forma desnecessária, evitando custos adicionais e a exposição do ambiente e dos produtores aos produtos (BASSETO et

al., 2022; TETILA et al., 2020). Demonstram também a interessante performance das liberações de inimigos naturais ao longo das safras, fruto de estudos realizados por pesquisadores na área do experimento, demonstrando que, mesmo não elevando a produtividade final da lavoura, a utilização do controle biológico aplicado dentro do MIP aumenta a biodiversidade de inimigos naturais do local e pode auxiliar na redução do uso de produtos químicos (BUENO et al., 2020; GRANDE et al., 2021), favorecendo toda a cadeia produtiva.

4.4 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, **ANVISA**: Sistema Eletrônico de Informações (SEI). 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br>>. Acesso em: 03 jan. 2023.

BARTLETT, M. S. Properties of sufficiency and statistical tests. **Proceedings of Royal Society of London**, v. 160, p. 268-282, 1937.

BASSETO, V. H. B.; SANCHES, S. R. R.; GRANDI, M. A.; OLIVEIRA, C.; KERN, H. S.; SILLA, P. R. Catálogo virtual de doenças e pragas de soja. *In*: XVII Jornada Acadêmica da Embrapa Soja. **Resumos expandidos**. Londrina: Embrapa Soja, 2022. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1147321/1/p-33-DOCUMENTO-446-JA-2022.pdf>>. Acesso em: 03 jan. 2023.

BELO, M. S. S. P.; PIGNATI, W.; DORES, E. G. de C.; MOREIRA, J. C.; PERES, F. Uso de agrotóxicos na produção de soja do estado de Mato Grosso: um estudo preliminar de riscos ocupacionais e ambientais. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 37, n. 125, p. 78-88, 2012. DOI: 10.1590/S0303-76572012000100011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbso/a/6WpPZxTdH4GdPPCh4TwndHc/?lang=pt>>. Acesso em: 03 jan. 2023.

BOCATTI, C. R.; LORINI, I.; QUIRINO, J. R.; ROSA, E. E.; CORRÊAFERREIRA, B. S.; OLIVEIRA, M. A. Defeitos da classificação comercial da soja devido a infestação de percevejos na lavoura e sua evolução no armazenamento. *In*: **Conferência brasileira de pós- colheita**, Maringá. Londrina: Abrapos, 2014. p. 162-169. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/998121?locale=pt_BR>. Acesso em: 03 jan. 2023.

BUENO, A. F.; BATISTELA, M. J.; BUENO, R. C. O. F.; FRANÇA-NETO, J. B.; NISHIKAWA, M. A. N.; LIBÉRIO FILHO, A. Effects of integrated pest management, biological control and prophylactic use of insecticides on the management and sustainability of soybean. **Crop Protection**, v. 30, n. 7, p. 937-945, 2011. DOI: 10.1016/j.cropro.2011.02.021.

BUENO, A. F.; BRAZ, E. C.; FAVETTI, B. M.; FRANÇA-NETO, J. B.; SILVA, G. V. Release of the egg parasitoid *Telenomus podisi* to manage the Neotropical Brown Stink Bug, *Euschistus heros*, in soybean production. **Crop Protection**, v. 137, 7 p. 2020. DOI: 10.1016/j.cropro.2020.105310.

BUENO, A. F.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; BIANCO, R.; ROGGIA, S. Controle de percevejos em soja e milho. **Revista Cultivar**, v. 196, p. 4-5, 2015. Disponível em: <<https://revistacultivar.com.br/artigos/controle-de-percevejos-em-soja-e-milho>>. Acesso em: 03 jan. 2023.

BUENO, R. C. O. F.; CARNEIRO, T. R.; BUENO, A. F.; PRATISSOLI, D.; FERNANDES, O. A.; VIEIRA, S. S. Parasitism Capacity of *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera: Scelionidae) on *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) Eggs. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 53, p. 133-139, 2010. DOI: 10.1590/S1516-89132010000100017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/babt/a/Vn53tCFGdR3FBMzCGMdXgyC/?lang=en>>. Acesso em: 19 dez. 2022.

CARVALHO, F. K.; ANTUNIASI, U. R.; MOTA, A. A. B.; CHECHETTO, R. G.; GANDOLFO, U. D. Influência de adjuvantes de calda no depósito em aplicações aéreas e terrestres. **Energia na agricultura**, v. 28, n. 4, p. 215-221, 2013. Disponível em: <<https://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/857/875>>. Acesso em: 03 jan. 2023.

FILHO, J. C. A. P.; ALMEIDA, W. S. M.; GLADENUCCI, J.; ZACHRISSON, B.; OLIVEIRA, R. C. Efficacy of *Telenomus podisi* Ashmead, 1893 (Hymenoptera: Platygasteridae) release for the control of *Euschistus heros* (Fabricius, 1794) (Hemiptera: Pentatomidae). **Idesia (Arica)**, v. 40, n. 1, p. 77-86, 2022. Disponível em: <<https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v40n1/0718-3429-idesia-40-01-77.pdf>>. Acesso em: 03 jan. 2023.

FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYŻANOWSKI, F. C. Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de soja. **Embrapa Soja**, Londrina, 108 p, 2018. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/193315/1/Doc-406-OL.pdf>>. Acesso em: 03 jan. 2023.

GAZZIERO, D. L. P. Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. **Embrapa Soja**, Londrina, 2015. DOI: 10.1590/S0100-83582015000100010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/pd/a/ZWY9dmvYsbHqbJ7C3fFF3D/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 03 jan. 2023.

GRANDE, M. L. M.; QUEIROZ, A. P.; GONÇALVES, J.; HAYASHIDA, R.; VENTURA, M. U.; BUENO, A. F. Impact of Environmental Variables on Parasitism and Emergence of *Trichogramma pretiosum*, *Telenomus remus* and *Telenomus podisi*. **Neotropical Entomology**, v. 50, n. 4, p. 605-614, 2021. DOI: 10.1007/s13744-021-00874-2. Disponível em: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s13744-021-00874-2.pdf?pdf=button>>. Acesso em: 03 jan. 2023.

KRZYŻANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, A. A. **A alta qualidade da semente de soja: fator importante para a produção da cultura. Embrapa Soja**, Londrina, 24 p. 2018. ISSN 2176-2864 Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/177391/1/CT136-online.pdf>>. Acesso em: 03 jan. 2023.

MENTEN, J. O. M.; CANALE, M. C.; CALAÇA, H. A.; FLÔRES, D.; MENTEN, M.. Legislação ambiental e uso de defensivos agrícolas. **Citrus Research &**

Technology, Cordeirópolis, v. 32, n. 2, p. 109-120, 2011. Disponível em: <<https://citrusrt.ccsm.br/journal/citrusrt/article/596523fd0e88258a4b082b38>>. Acesso em: 03 jan. 2023.

MINATO, F. A. **Eficiência da mistura em tanque de glyphosate com fertilizantes foliares aplicados na cultura da soja**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 33 p. 2019. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/30103/1/DV_COAGR_2019_1_30.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2023.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, MAPA. Instrução normativa da especificação de referência. **Diário Oficial da União**, 3 p, 2019. **ISSN 1677-7042**. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/produtos-fitosanitarios/arquivos-especificacao-de-referencia/INSDAn252019.especificaferDOU.pdf>>. Acesso em: 03 jan. 2023.

OLIVEIRA, R. C. Utilização de *Telenomus podisi* no manejo de *Euschistus heros*. In: PARRA, J. R. P.; PINTO, A. S.; NAVA, D. E.; OLIVEIRA, R. C.; DINIZ, A. J. F. (ed.). **Controle Biológico com Parasitoides e Predadores na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Fealq, cap. 9, 2021. p. 235-247.

PACHECO, D. J. P.; CORRÊA-FERREIRA, B. S. Potencial reprodutivo e longevidade do parasitoide *Telenomus podisi* Ashmead, em ovos de diferentes espécies de percevejos. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 27, p. 585-591, 1998. DOI: 10.1590/S0301-80591998000400011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/aseb/a/Q7jMRy8nNJbgwJ4LhFmrQVb/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 03 jan. 2023.

PARRA, J.R.P.; BOTELHO, P.S.M.; CORRÊA-FERREIRA, B.S.; BENTO, J.M.S. Controle Biológico: Terminologia. In: PARRA, J.R.P.; BOTELHO, P.S.M.; CORRÊA-FERREIRA, B.S.; BENTO, J.M.S. (ed.) **Controle Biológico no Brasil: Parasitoides e Predadores**. São Paulo: Manole, 2002. p. 1-16.

PAZ-NETO, A. A.; QUERINO, R. B.; MARGARÍA, C. B. Egg parasitoids of stink bugs (Hemiptera: Coreidae and Pentatomidae) on soybean and cowpea in Brazil. **The Florida Entomologist**, vol. 98, n. 3, p. 929-932, 2015. Disponível em: <<https://journals.flvc.org/flaent/article/view/84728>>. Acesso em: 03 jan. 2023.

PINTO, A. S.; PARRA, J. R. P. Tecnologia de liberação de parasitoides e predadores. In: PARRA, J. R. P.; PINTO, A. S.; NAVA, D. E.; OLIVEIRA, R. C.; DINIZ, A. J. F. (ed.) **Controle Biológico com Parasitoides e Predadores na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Fealq, cap. 17, 2021. p. 427-477.

PRATISSOLI, D.; THULER, R. T.; PEREIRA, F. F.; FIALHO, E. R.; FERREIRA, A. T. Ação transovariana de lufenuron (50 G/ L) sobre adultos de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) e seu efeito sobre o parasitóide de ovos *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, p. 9-14, 2004. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cagro/a/5YM7NpB9PLS9BbHG6yrkKZd/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 03 jan. 2023.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, p. 591-611, 1965.

TETILA, E. C.; MACHADO, B. B.; MENEZES, G. V.; BELETE, N. A. de S.; ASTOLFI, G.; PISTORI, H. A deep-learning approach for automatic counting of soybean insect pests. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 17, n. 10, p. 1837-1841, 2020.

WEBER, I. D.; GARCIA, A. G.; BUENO, A. F.; OLIVEIRA, R. C.; GODOY, W. A. C. Release strategies of *Telenomus podisi* for control of *Euschistus heros*: a computational modeling approach. **Pest Management Science**, v. 78, n. 11, p. 4544-4556, 2022. DOI: 10.1002/ps.7074.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. A faixa térmica de $21\pm 1^{\circ}\text{C}$ a $30\pm 1^{\circ}\text{C}$ foi a mais ideal para os parâmetros biológicos avaliados em *Telenomus podisi* e para a capacidade de parasitismo das fêmeas, assim como a utilização de dietas artificiais para a criação de *Euschistus heros*.
2. *T. podisi* apresenta relação inversa entre temperatura e sobrevivência de fêmeas. O menor valor da constante térmica K foi encontrado no tratamento 1 (dieta natural e ovos frescos) e a temperatura ótima (T_{opt}) variou de 28°C a 29°C ;
3. Ambos os tipos de liberação (pupas de *T. podisi* e adultos previamente alimentados) foram benéficos para o manejo da população de ninfas de *E. heros* no campo;
4. Possivelmente, devido aos trabalhos realizados anualmente na Fazenda Santa Fé, não foram encontrados pentatomídeos (em especial *E. heros*) nas avaliações das áreas tratadas com *T. podisi*.

REFERÊNCIAS

- BOCATTI, C. R.; LORINI, I.; QUIRINO, J. R.; ROSA, E. E.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; OLIVEIRA, M. A. Defeitos da classificação comercial da soja devido a infestação de percevejos na lavoura e sua evolução no armazenamento. *In: Conferência brasileira de pós-colheita*, Londrina: Abrapos, p. 162-169, 2014.
- BUENO, A. F.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; BIANCO, R.; ROGGIA, S. Controle de percevejos em soja e milho. **Revista Cultivar**, v. 196, p. 4-5, 2015. Disponível em: <<https://revistacultivar.com.br/artigos/controle-de-percevejos-em-soja-e-milho>>. Acesso em: 03 jan. 2023.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 8, safra 2021/22, 3º levantamento, 2022. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 03 jan. 2023.
- DENIS, D.; PIERRE, J. S.; VAN BAAREN, J.; VAN ALPHEN J. J. How temperature and habitat quality affect parasitoid lifetime reproductive success – a simulation study. **Ecological Modelling**, p. 1604-1613, 2011. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2011.02.023.
- FRAZER, B. D.; MCGREGOR, R. R. Temperature-dependent survival and hatching rate of eggs of seven species of Coccinellidae. **The Canadian Entomologist**, p. 305-312, 1992.
- KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, A. A. **A alta qualidade da semente de soja: fator importante para a produção da cultura**. Londrina: Embrapa Soja, 24 p. 2018. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/177391/1/CT136-online.pdf>>. Acesso em: 03 jan. 2023.
- HAYASHIDA, R.; BUENO, A. F.; HERMEL, A. O.; HIRAKURI, M. H.; SILVA, F. A. C.; ROGGIA, S. *Euschistus heros* (Hemiptera: pentatomidae) fitness on artificial diets: An approach to Optimize Mass Rearing of *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Platygastriidae) for Augmentative Biological Control. **Journal Of Economic Entomology**, v. 111, n. 4, p. 1605-1613, 2018. DOI: 10.1093/jee/toy154.
- MENTEN, J. O. M.; CANALE, M. C.; CALAÇA, H. A.; FLÔRES, D.; MENTEN, M.. Legislação ambiental e uso de defensivos agrícolas. **Citrus Research & Technology**, Cordeirópolis, v. 32, n. 2, p. 109-120, 2011.
- MOSES-GONZALES, N.; BREWER, M.J. A Special Collection: drones to improve insect pest management. **Journal Of Economic Entomology**, v. 114, n. 5, p. 1853-1856, 2021. DOI: 10.1093/jee/toab081.
- PARRA, J.R.P.; BOTELHO, P.S.M.; CORRÊA-FERREIRA, B.S.; BENTO, J.M.S. Controle Biológico: Terminologia. *In: PARRA, J.R.P.; BOTELHO, P.S.M.; CORRÊA-FERREIRA, B.S.; BENTO, J.M.S. (ed.). Controle Biológico no Brasil: Parasitoides e Predadores*. São Paulo: Manole, 2002. p. 1-16.

PARRA, J.R.P. **Técnicas de criação de insetos para programas de controle biológico**. Piracicaba: FEALQ, 137 p. 2001.

PAZ-NETO, A. A.; QUERINO, R. B.; MARGARÍA, C. B. Egg parasitoids of stink bugs (Hemiptera: Coreidae and Pentatomidae) on soybean and cowpea in Brazil. **The Florida Entomologist**, vol. 98, n. 3, p. 929-932, 2015. Disponível em: <<https://journals.flvc.org/flaent/article/view/84728/84016>>. Acesso em: 03 jan. 2023.

PINTO, A. S.; PARRA, J. R. P. Tecnologia de liberação de parasitoides e predadores. *In*: PARRA, J. R. P.; PINTO, A. S.; NAVA, D. E.; OLIVEIRA, R. C.; DINIZ, A. J. F. (ed.) **Controle Biológico com Parasitoides e Predadores na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Fealq, cap. 17, 2021. p. 427-477.

SIMONATO, J.; GRIGOLLI, J. F. J.; DE OLIVEIRA, H. N. **Controle biológico de insetos-praga na soja**. Embrapa Agropecuária Oeste - Capítulo em livro técnico científico (ALICE), 2014. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/985985/1/cap.8.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2023.