

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Exigências térmicas e higrométricas de *Telenomus remus* (Nixon, 1937) (Hymenoptera: Scelionidae) em *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) para produção massal e zoneamento do parasitoide no Brasil

Marília Corrêa de Melo

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração:
Entomologia

**Piracicaba
2022**

Marília Corrêa de Melo
Licenciada em Ciências Biológicas

**Exigências térmicas e higrométricas de *Telenomus remus* (Nixon, 1937)
(Hymenoptera: Scelionidae) em *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797)
(Lepidoptera: Noctuidae) para produção massal e zoneamento do
parasitoide no Brasil**

versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ ROBERTO POSTALI PARRA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração:
Entomologia

Piracicaba
2022

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Melo, Marília Corrêa de

Exigências térmicas e higrométricas de *Telenomus remus* (Nixon, 1937) (Hymenoptera: Scelionidae) em *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) para produção massal e zoneamento do parasitoide no Brasil / Marília Corrêa de Melo. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2022.

59 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Isolinhagem 2. Controle biológico 3. Zoneamento ecológico I. Título

Dedicatória

Dedico este trabalho a todos que se dedicam à ciência e que acreditam que a construção e transmissão de conhecimento pode transformar o mundo em um lugar melhor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Léia e Tarcísio por todo o apoio, incentivo e amor oferecidos a mim;

Aos meus familiares e amigos, por acreditarem em mim e sempre me apoiarem;

Ao professor Dr. José Roberto Postali Parra por me guiar durante este percurso, fazendo com que eu me desenvolvesse como cientista e como pessoa. Agradeço pela confiança depositada em mim, e por ter transformado a experiência de realizar um projeto de mestrado em algo estimulante e enriquecedor;

Ao Aloisio Coelho Jr por todas as oportunidades oferecidas e por sempre me aconselhar, seja em assuntos científicos ou pessoais;

Aos amigos que no Laboratório de Biologia de Insetos que sempre foram muito acolhedores, em especial para a Neide Graciano que me ensinou desde o zero as técnicas de criação de insetos;

À Mikaela Terra, Alice Fortes e Pedro Holtz por serem excelentes amigos e parceiros de criação de insetos, tornando a experiência no laboratório sempre em algo agradável;

Aos professores do Departamento de Entomologia e Acarologia da ESALQ/USP por todo o conhecimento transmitido durante as aulas e palestras ministradas;

Ao Adriano Garcia Gomes por me ensinar os conceitos de Zoneamento Ecológico e por me ajudar com a elaboração dos mapas utilizados no presente trabalho;

Ao Rafael de Andrade Moral, Elizabeth Mie Hashimoto e Carolina Reigada Montoya pelo esclarecimento de dúvidas e ajuda na realização dos testes estatísticos;

Ao apoio no oferecimento de infraestrutura, equipamentos e insumos para a realização do presente trabalho oferecidos pelo São Paulo Advanced Research Center for Biological Control (SPARCBio) Processo FAPESP 2018/02317-5;

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

“A ciência e a vida cotidiana não podem e não devem estar separadas”.

Rosalind Franklin

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT.....	9
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1. <i>Spodoptera frugiperda</i> (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae).....	13
2.2. <i>Telenomus remus</i> (Nixon, 1937) (Hymenoptera: Scelionidae)	14
2.3. A influência da temperatura em insetos	16
2.4. A influência da umidade relativa em insetos	17
2.5. Zoneamento ecológico	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1. Manutenção da criação de <i>Spodoptera frugiperda</i> (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae).....	21
3.2. Manutenção da criação de <i>Telenomus remus</i> (Nixon, 1937) (Hymenoptera: Scelionidae)	22
3.3. Exigências térmicas para o desenvolvimento de <i>T. remus</i>	22
3.4. Exigências higrométricas para o desenvolvimento de <i>T. remus</i>	24
3.5. Análises estatísticas dos dados obtidos nos experimentos de exigências térmicas e higrométricas para <i>T. remus</i>	24
3.6. Tabela de vida de fertilidade de <i>T. remus</i> em diferentes temperaturas e umidades relativas	25
3.7. Zoneamento de <i>T. remus</i> no Brasil	26
4. RESULTADOS.....	29
4.1. Exigências térmicas para o desenvolvimento de <i>Telenomus remus</i> (Nixon, 1937) (Hymenoptera: Scelionidae).....	29
4.2. Exigências higrométricas para o desenvolvimento de <i>T. remus</i>	31
4.3. Tabela de vida de fertilidade de <i>Telenomus remus</i> em diferentes temperaturas e umidades relativas	32
4.4. Zoneamento de <i>T. remus</i> no Brasil	36
5. DISCUSSÃO.....	39
5.1. Exigências térmicas para o desenvolvimento de <i>Telenomus remus</i> (Nixon, 1937) (Hymenoptera: Scelionidae).....	39

5.2. Exigências higrométricas para o desenvolvimento de <i>T. remus</i>	40
5.3. Tabela de vida de fertilidade de <i>T. remus</i> em diferentes temperaturas e umidades relativas.....	41
5.4. Zoneamento de <i>T. remus</i> no Brasil.....	41
6. CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS	47

RESUMO

Exigências térmicas e higrométricas de *Telenomus remus* (Nixon, 1937) (Hymenoptera: Scelionidae) em *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) para produção massal e zoneamento do parasitoide no Brasil

Spodoptera frugiperda (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) é uma praga polífaga de grande importância. Destaca-se por ser a principal praga da cultura de milho nos países da América do Sul e por ter uma alta capacidade de dispersão, sendo relatada em todos os continentes. As principais formas de controle são com a utilização de agroquímicos e cultivares geneticamente modificados. Com o intuito de buscar uma alternativa para o controle desta espécie, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento biológico de uma isolinhagem de *Telenomus remus* (Nixon, 1937) (Hymenoptera: Scelionidae) coletada em Piracicaba, São Paulo, em ovos de *S. frugiperda* em diferentes temperaturas e umidades relativas (UR), visando a determinação das condições ideais para a produção massal e para a realização do zoneamento ecológico do parasitoide no Brasil. Foi avaliado o desenvolvimento e parasitismo da geração parental de *T. remus* e de sua prole nas diferentes temperaturas (18, 20, 22, 25, 28, 30, 33 e 35°C) e UR (30, 50, 70, 90%). Com os valores obtidos foram confeccionadas tabelas de vida de fertilidade nas diferentes temperaturas e UR. Estimou-se que a constante térmica (K) é 210,36 graus dias e os limites térmicos inferior (Tb) e superior (Tmax) de desenvolvimento são 10,6°C e 35,9°C, respectivamente. Em ambas as gerações *T. remus* apresentou um melhor desempenho de parasitismo nas temperaturas entre 25 e 30°C e nas UR entre 50 e 70%. Foram feitos dois zoneamentos para *T. remus* no Brasil, sendo um baseado em valores de R₀ (taxa líquida de reprodução), e outro baseado no número de gerações de *T. remus* em municípios produtores de milho de primeira e segunda safras. Ambos zoneamentos mostraram que nas regiões Norte, Nordeste, Centro Oeste e Sudeste do Brasil, estão as áreas mais adequadas para o estabelecimento e multiplicação de *T. remus*, especialmente nos meses de setembro a fevereiro. A região Sul, mais fria, oferece condições adequadas apenas nos meses de novembro a março. Nas mesmas condições climáticas que *S. frugiperda*, *T. remus* pode produzir de 4 a 6 vezes mais gerações em ambas as safras de milho. A primeira safra de milho no Brasil é a que apresenta um maior número de regiões favoráveis para a liberação de *T. remus*, visando ao controle de *S. frugiperda*.

Palavras-chave: Isolinhagem, Controle biológico, Zoneamento ecológico

ABSTRACT

Thermal and hygrometric requirements of *Telenomus remus* (Nixon, 1937) (Hymenoptera: Scelionidae) on *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1737) (Lepidoptera: Noctuidae) for mass rearing and zoning of the parasitoid in Brazil

Spodoptera frugiperda (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) is an important polyphagous insect pest. It is the main pest of corn (maize) crops in South American countries and has a high dispersal ability, being present in all continents. The main control methods are chemical insecticides and genetically modified organisms. The present study evaluated the biological development of an isofemale line of *Telenomus remus* (Nixon, 1937) (Hymenoptera: Scelionidae) collected in Piracicaba, São Paulo, in eggs of *S. frugiperda* at different temperatures and relative humidities (RH), in order to determine the ideal conditions for mass rearing and ecological zoning of this parasitoid in Brazil. The development and parasitism of the parental generation and F1 generations of *T. remus* was evaluated at different temperatures (18, 20, 22, 25, 28, 30, 33, and 35°C) and RH (30, 50, 70 and 90%). Based on the collected data, a biology and life table for temperature and RH was constructed. The thermal constant (K) is 210.36 degree-days, the low-temperature threshold (Tb) is 10.6°C, and the high-temperature threshold is 35.9°C. The parental and F1 generations had the best parasitism rate at 25 to 30°C and RH 50 to 70%. Two types of zonings were developed, one based on the net reproductive rate (R_0) and the other based on the number of generations of *T. remus* for the 1st and 2nd crops in the main corn-producing municipalities. Both zonings showed that the northern, northeastern, central-western, and southeastern regions were the most suitable for the establishment and reproduction of *T. remus*, especially between September and February. The southern region, the coldest, has adequate conditions only from November to March. Under the same climatic conditions, *T. remus* can produce 4 to 6 times more generations compared to *S. frugiperda* in 1st and 2nd crops seasons. The 1st crop in Brazil has more regions suitable for *T. remus* release, aiming for biological control of *S. frugiperda*.

Keywords: Isofemale line, Biological control, Ecological zoning

1. INTRODUÇÃO

Spodoptera frugiperda (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) é uma praga de grande relevância no continente americano (Ashley et al. 1989; Clark et al., 2007). Alimenta-se de uma grande quantidade de espécies de plantas, muitas das quais possuem importância econômica (Knipling, 1980; Casmuz et al., 2010; Montezano et al., 2018).

Por possuir diversas plantas como hospedeiras e ter uma alta capacidade de dispersão, *S. frugiperda* ultrapassou as barreiras geográficas das Américas (Goergen et al., 2016; Ganiger et al., 2018) e já é relatada em quase todos os continentes, estando presente em países da África, Ásia e Oceania, tornando-se uma ameaça para a economia e segurança alimentar de vários países (Sparks, 1979; Goergen et al., 2016; Kenis et al., 2017; Ganiger et al., 2018; Sharanabasappa et al., 2018; Yang et al., 2019; EPPO 2020; Sun et al., 2021).

Atualmente, as principais formas de controle de *S. frugiperda* são a utilização de agroquímicos e de cultivares de milho Bt (organismos geneticamente modificados) resistentes a lepidópteros (Adamczyk e Sumerford, 2001; Bernardi et al., 2014; Faretto et al., 2017). Contudo, já é relatada a existência de populações resistentes a tais métodos de controle (Storer et al., 2010; Faretto et al., 2017).

Um outro método para o controle de pragas é a utilização de inimigos naturais, macro e micro-organismos, pois estes promovem o controle de forma específica e sustentável (DeBach, 1964; Parra et al., 2002; Bale et al., 2008). Conhecem-se muitas espécies de macroorganismos que controlam *S. frugiperda* de forma natural no agroecossistema, mas poucos são estudados visando à utilização em programas de controle biológico (CB) (Cruz, 1995). No Brasil, apenas *Trichogramma pretiosum* (Riley, 1879) (Hymenoptera: Trichogrammatidae) é utilizado e comercializado para o controle desta espécie (MAPA, 2022).

Um parasitoide que tem especificidade para insetos da ordem Lepidoptera e tem *S. frugiperda* como um de seus principais hospedeiros é *Telenomus remus* (Nixon, 1937) (Hymenoptera: Scelionidae) (Gupta e Pawar, 1985; Cruz e Figueiredo, 1994). *T. remus* destaca-se dentre os demais inimigos naturais, por ter uma alta capacidade de parasitismo e por atingir as camadas mais internas das posturas, diferentemente de *Trichogramma* spp. que parasitam apenas as camadas superficiais (Cave, 2000; Beserra e Parra, 2005; Bueno et al., 2008).

Por mais que a introdução no Brasil desta espécie exótica tenha ocorrido pela primeira vez na década de 1980, o primeiro relato da ocorrência natural de *T. remus* só se deu em 2020, quando foi relatado em áreas de cultivos de milho no Paraná e em São Paulo (Wengrat et al., 2021).

Entretanto, por mais que o parasitoide seja estudado há anos, tanto no Brasil quanto em diversos países, os resultados de campo são muito contraditórios, apontando diferentes resultados, principalmente para a porcentagem de parasitismo, que é relatada variando de 1,4 a 9% no trabalho de Salazar-Mendonza et al. (2020) e de 70 a 100% no trabalho de Ferrer (2001) na Venezuela (onde o parasitoide já se encontra estabelecido), bem como o número de indivíduos a ser liberado em campo por ha, sendo indicados 5.000 indivíduos no trabalho de Hernández et al. (1989) e 200.000 no de Varella et al. (2015).

Tais indicações contrastantes, possivelmente, são devido às diferentes linhagens de *T. remus* que foram utilizadas para realizar os experimentos (Colmenarez et al., 2022). Diferentemente dos trabalhos realizados no Brasil, no presente trabalho, foram utilizados *T. remus* coletados em uma plantação de milho localizada na cidade de Piracicaba no estado de São Paulo, realizando-se os experimentos em uma população obtida a partir de uma isolinhagem.

Para que seja possível a utilização de um inimigo natural em programas de CB, é necessário conhecer seus aspectos biológicos (Moraes et al., 2000; Parra, 2000). Por esse motivo, o estudo do efeito da temperatura e umidade relativa nos insetos é de grande importância, para que se possa determinar quais as melhores condições para a criação em laboratório e também para a liberação destes insetos em campo (Parra, 2002).

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento biológico de uma isolinhagem de *T. remus* em diferentes temperaturas (18, 20, 22, 25, 28, 30, 33 e 35°C) e umidades relativas (30, 50, 70 e 90%) confeccionando-se tabelas de vida de fertilidade, visando a otimização da criação massal e ao zoneamento do parasitoide no Brasil, baseando-se um em valores de R_0 (taxa líquida de reprodução), os quais foram estimados através dos valores médios de temperatura e umidades relativas em 106 municípios distribuídos pelo país e outro no número de gerações de *T. remus* nos principais municípios produtores de milho do Brasil (1^a e 2^a safras).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae)

S. frugiperda é um inseto praga, nativo das regiões tropicais e subtropicais da América do Sul (Sparks, 1979). Trata-se de uma espécie de grande importância, destacando-se por ser polífaga, alimentando-se de mais de 350 espécies de plantas (Montezano et al., 2018). Muitas destas plantas são de grande relevância econômica, como milho, soja, cana-de-açúcar, algodoeiro e tabaco, além de cultivares importantes para a alimentação humana, como, trigo, batata, arroz e hortaliças (Knippling, 1980; Nagoshi, 2009; Montezano et al., 2018, Parra et al., 2021).

Essa grande quantidade de plantas hospedeiras permite que *S. frugiperda* se mantenha nas áreas de plantio e também se disperse para outros países, como da Europa e Ásia (Goergen et al., 2016; Kenis et al., 2017; Ganiger et al., 2018; Shaeenabasappa et al., 2018). No continente americano, a praga já foi relatada em diversas culturas e por toda a sua extensão, desde a Argentina até o sul do Canadá (Sparks, 1979).

Atualmente, *S. frugiperda* já está presente em diversas regiões fora do continente americano, sendo que em 2016 foi relatada pela primeira vez no continente africano; em 2018, no sul da Índia e sudeste asiático, em países como Bangladesh, Mianmar e Tailândia; em 2019 em regiões ao sul da China, e em 2020 em países da Oceania (Goergen et al., 2016; Ganiger et al., 2018; Sharanabasappa et al., 2018; Yang et al., 2019; EPPO 2020; Sun et al., 2021).

O controle de *S. frugiperda* é realizado principalmente por meio da aplicação de altas doses de agroquímicos e da utilização de plantas transgênicas (Adamczyk e Sumerford, 2001; Bernardi et al., 2014; Faretto et al., 2017). Em países do continente americano, o principal método de controle da praga é a aplicação de agroquímicos e devido à grande pressão de seleção causada pelo intenso e frequente uso, houve a evolução da resistência a alguns ingredientes ativos; no continente americano, *S. frugiperda* apresenta resistência a, pelo menos, 29 ingredientes ativos de agroquímicos (Gutierrez-Moreno et al., 2019). Também já é relatada a existência de populações de *S. frugiperda* resistentes a variedades de milho Bt (organismos geneticamente modificados) (Rodríguez & Omoto 2001; Storer et al., 2010; Faretto et al., 2017).

Uma das alternativas para o controle de *S. frugiperda* é a utilização de inimigos naturais, os quais podem ser macro e micro-organismos. No Brasil, são registrados três agentes biocontroladores, ou seja, o parasitoide *Trichogramma pretiosum* (Riley, 1879) (Hymenoptera: Trichogrammatidae) e os patógenos, Baculovirus spodoptera (SfMNPV) e *Bacillus thuringiensis* (Berliner, 1911) (Eubacteriales: Bacillaceae) (Bt) (MAPA, 2022).

É conhecida uma grande diversidade de espécies de parasitoides de *S. frugiperda*, sendo relatadas mais de 100 espécies em diversas partes do mundo (Paredes-Sanchez et al., 2021). Assim, destacam-se os parasitoides de ovos *Trichogramma* spp. (Hymenoptera: Trichogrammatidae), *Telenomus* spp. (Hymenoptera: Scelionidae), *Chelonus insularis* (Cresson, 1865) (Hymenoptera: Braconidae) e o parasitoide de lagartas *Campoletis flavicincta* (Ashmead, 1890) (Hymenoptera: Ichneumonidae) (Cruz, 1995).

Os predadores também contribuem para o controle de *S. frugiperda* em campo (Figueiredo et al., 2006). Dentre as espécies, destacam-se *Doru luteipes* (Scudder, 1876) (Dermaptera: Forficulidae), *Orius insidiosus* (Say, 1832). (Hemiptera: Anthocoridae). *Chrysoperla* spp. (Neuroptera: Chrysopidae) e *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Hemiptera: Pentatomidae) (Cruz, 1995; Paredes-Sánchez et al., 2021). Existem muitos parasitoides e predadores que ocorrem naturalmente no agroecossistema, mas as populações são insuficientes para o controle de *S. frugiperda*. Entretanto, tanto para parasitoides quanto para predadores, poucas são as espécies estudadas visando ao controle de *S. frugiperda* (Cruz, 1995).

2.2. *Telenomus remus* (Nixon, 1937) (Hymenoptera: Scelionidae)

T. remus é um parasitoide de ovos de insetos da ordem Lepidoptera, sendo muitos destes, pragas de grande relevância (Cave, 2000). Possui uma alta capacidade reprodutiva e é um potencial agente de controle biológico de insetos pragas do gênero *Spodoptera* (Gupta e Pawar, 1985; Cruz e Figueiredo, 1994; Pomari et al., 2012).

Fêmeas de *T. remus* podem parasitar durante sua vida em média 150 ovos, depositando apenas um ovo por hospedeiro e raramente ocorre o superparasitismo (Cave, 2000), característica indesejável em programas de controle biológico.

Visando à criação de *T. remus*, fatores como temperatura e umidade relativa (UR) são muito importantes para o seu desenvolvimento (Cave, 2000). Gupta e Pawar

(1985) demonstraram que *T. remus* teve maior capacidade de parasitismo em UR superiores a 50%. Para a temperatura, Gautam (1986) constatou que *T. remus* apresenta uma maior taxa de parasitismo a 27°C.

Estes valores para temperatura foram semelhantes nos trabalhos de Bueno et al. (2008) e de Pomari et al. (2012) para o hospedeiro natural, *S. frugiperda*, e para hospedeiros alternativos, como *Spodoptera albula* (Walker, 1857), *Spodoptera cosmioides* (Walker, 1858) e *Spodoptera eridania* (Cramer, 1782) (Lepidoptera: Noctuidae). Os valores para UR também foram coincidentes no trabalho de Pomari et al., (2014) para *S. frugiperda* e para o hospedeiro alternativo de *T. remus*, *Corcyra cephalonica* (Stainton, 1863) (Lepidoptera: Pyralidae).

Diferentemente de parasitoides do gênero *Trichogramma* (Westwood, 1833) (Hymenoptera: Trichogrammatidae), *T. remus*, por ser maior, possui a capacidade de ultrapassar tanto as camadas de escamas, depositadas sobre a postura de espécies do gênero *Spodoptera*, quanto as camadas de ovos sobrepostas, atingindo até mesmo as mais internas (Cave, 2000; Beserra e Parra, 2005; Bueno et al., 2008). Esta característica oferece ao parasitoide a perspectiva de ser um potencial agente de controle biológico de pragas deste gênero.

O primeiro relato da utilização de *T. remus* em programas de controle biológico clássico foi em 1963, quando o parasitoide oriundo da Papua Nova Guiné foi introduzido na Índia (Sankaran, 1974). Nas Américas, a primeira introdução de *T. remus* ocorreu nas ilhas de Barbados em 1971, para o controle de *S. frugiperda* (Alam, 1978).

No Brasil houve três introduções de *T. remus* visando ao controle biológico clássico de *S. frugiperda*; a primeira introdução ocorreu em 1983, com uma linhagem oriunda da Republica Dominicana (Wengrat et al., 2021) feita pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Piracicaba, São Paulo). Em 1996 o Centro de Pesquisa de Milho e Sorgo da Embrapa (Sete Lagoas, Minas Gerais) introduziu uma linhagem oriunda da Venezuela. A última introdução ocorreu em 2011 por meio da Universidade Estadual Paulista (Jaboticabal, São Paulo) que trouxe uma linhagem também coletada na Venezuela (Wengrat et al., 2021). Recentemente, foi referida a ocorrência natural no agroecossistema brasileiro, indicando que a espécie se encontra estabelecida no país (São Paulo e Paraná) (Wengrat et al., 2021).

A produção de *T. remus*, seja para fins comerciais ou de pesquisa, ocorre em diferentes países, destacando-se países do continente africano e da América Latina

(Colmenarez et al., 2022). No Peru, empresas privadas produzem *T. remus* em ovos de *S. frugiperda* (Mujica e Whu, 2020). Na Venezuela, desde 2005 três laboratórios produzem *T. remus*, visando a liberações inundativas; a produção é distribuída gratuitamente ou a baixo custo para produtores (Vasquez et al., 2020; Colmenarez et al., 2022).

Na Venezuela, em áreas de milho que realizam programas de manejo integrado de pragas, a taxa de parasitismo dos ovos de *S. frugiperda* por *T. remus* é de 90% (Ferrer, 2001). Entretanto, a utilização em campo de *T. remus* ainda é limitada, devido principalmente à dificuldade de sua produção em larga escala (Pomari et al., 2014).

Um dos principais desafios para se ter uma grande produção de *T. remus* é a dificuldade de se criar seu hospedeiro natural, *S. frugiperda*, pois as lagartas da praga possuem o comportamento canibal, necessitando que sejam criadas individualmente (Colmenarez et al., 2022). Por este motivo, existem estudos visando à busca de hospedeiros alternativos para a criação massal do parasitoide (Pomari et al., 2014; Chen et al., 2021).

No Brasil e em outros países, os resultados de campo são bastante contraditórios no controle de *S. frugiperda* por *T. remus* (Colmenarez et al., 2022). O número de indivíduos indicados para liberação em campo varia de 5000 a 200.000 por ha (Hernández et al., 1989; Ferrer, 2001; Varella et al., 2015; Salazar-Mendoza et al., 2020)

A frequência de aplicações também apresenta grandes variações, indo desde uma liberação (Figueiredo et al., 2002; Varella et al., 2015; Salazar-Mendoza et al., 2020) até quatro liberações, com intervalos semanais (Ferrer 2001; García-Roa, 1999) ou, até mesmo, dez liberações também com intervalos semanais (Linares, 1998).

A porcentagem de parasitismo, um dos fatores utilizados no controle de qualidade de parasitoides, segundo a IOBC (Parra et al., 2002), também é muito contrastante nos trabalhos já publicados, apresentando valores de 1,4-9% (Varella et al., 2015) e 9-14% (Salazar-Mendoza et al., 2020), a valores que são superiores a 60%, podendo chegar até a 100% (Hernández et al., 1989; Cave e Acosta, 1999; García-Roa, 1999; Ferrer, 2001; Figueiredo et al., 2002).

2.3. A influência da temperatura em insetos

Fatores abióticos como temperatura e umidade relativa (UR) influenciam diretamente no desenvolvimento, comportamento, alimentação e demais funções biológicas dos insetos (Silveira Neto et al., 1976; Inward et al., 2012; Romo e Tylianakis, 2013). Devido ao fato de serem pecilotérmicos, ou seja, não possuírem a capacidade de regular sua temperatura interna, os insetos têm suas funções biológicas influenciadas diretamente pela temperatura ambiental (Chapman, 1998).

Barrett e Schmidt (1991) apontaram que o hospedeiro é o fator que mais influencia na qualidade da prole, afetando o tamanho do ovo e sua composição nutricional; contudo, a temperatura é relevante na qualidade da prole gerada, podendo influenciar no parasitismo, viabilidade, tempo de desenvolvimento, longevidade e razão sexual (Pratissoli e Parra, 2000; Bazzocchi et al., 2003; Li e Mills, 2004).

No campo, fatores abióticos como a temperatura e a UR podem proporcionar condições adequadas ou não para a permanência de um inseto em um ambiente (Chakraborty, 2005). Tal conhecimento é possível de ser aplicado em um contexto agrícola, ao se determinar o limite térmico inferior ou temperatura base (T_b), temperatura mínima na qual o inseto consegue se desenvolver, podendo-se prever a ocorrência ou não de um inseto em uma determinada área (Wilson e Barnett, 1983).

O estudo da influência da temperatura em insetos também é importante para determinar qual a temperatura ótima para que este se desenvolva. *Trichogramma* spp. (Hymenoptera: Trichogrammatidae) conseguem se desenvolver em uma faixa de temperatura entre 15 a 35°C (Pratissoli et al., 2004); entretanto, a temperatura ótima para o parasitismo e desenvolvimento da prole é entre 25 a 30°C (Harrison et al., 1985; Pratissoli et al., 2004; Andrade et al., 2011). Proles que são parasitadas e se desenvolvem a 30°C geram uma maior quantidade de machos comparados àquelas que se desenvolvem em temperaturas mais baixas, não sendo ideal para programas de controle biológico (Harrison et al., 1985; Pratissoli et al., 2004; Andrade et al., 2011).

2.4. A influência da umidade relativa em insetos

A umidade relativa (UR), assim como a temperatura, possui grande importância no desenvolvimento de um parasitoide (Silveira Neto et al., 1976; Cave, 2000). A UR influencia em características do parasitoide como a longevidade e fecundidade (Ali et al., 1991; Emaná, 2007; Bruce, 2009; Pomari et al., 2014).

Contudo, poucos são os trabalhos, que de forma isolada, avaliam a influência da UR no desenvolvimento de parasitoides (Bruce, 2009).

Alguns dos fatores necessários para a elaboração de um programa de controle biológico são a necessidade de se ter a combinação do clima adequado e a disponibilidade de hospedeiros adequados para os inimigos naturais (Godfray e Waage, 1991; Goolsby et al., 2005; Pilkington e Hoddle, 2006). Tendo em vista essa necessidade, o estudo da influência da UR em parasitoides se torna importante, principalmente em regiões tropicas, visto que nestas regiões a UR varia drasticamente dependendo da estação, podendo afetar tanto os parasitoides adultos quanto a sua prole (Willmer, 1982; Gautam, 1986).

Parasitoides, no geral, são afetados negativamente em baixas umidades (Ali et al., 1991; Eman, 2007; Bruce, 2009; Pomari et al., 2014). Possivelmente, a dessecação dos ovos é o fator que afeta, com maior intensidade, o desenvolvimento do inseto (Bruce, 2009; Pomari et al., 2014); A desidratação de ovos de insetos está relacionada ao número de aerópilas presentes e à espessura do córion (Cônoli et al., 1999; Parra et al., 1999).

A UR pode também afetar a longevidade e a colocação de ovos, como foi demonstrado por Parra e Sales (1994) avaliando a biologia de *Trichogramma galloi* (Zucchi, 1988) (Hymenoptera: Trichogrammatidae) e Parra et al. (2004) no trabalho sobre a bioecologia de *Gymnandrosoma aurantianum* (Lima, 1927) (Lepidoptera: Tortricidae) visando a uma alternativa de controle para esta praga.

2.5. Zoneamento ecológico

Os estudos de exigências térmicas em laboratório são utilizados para a elaboração de modelos matemáticos a fim de compreender melhor essas influências termo-higrométricas (Deutsch et al., 2008). Aliar dados de exigências térmicas à modelagem matemática permite a elaboração de modelos que podem ajudar no estudo de ecologia dos insetos e aprimorar programas de manejo integrado de pragas, ao realizar projeções de possíveis surtos de pragas (Deutsch et al., 2008; Parra et al., 2021). Modelos matemáticos também podem ajudar em previsões do efeito das mudanças climáticas na abundância, desenvolvimento e dispersão de insetos, após a sua validação em campo (Giraldo-Jaramillo et al., 2018).

A utilização de modelos de Sistema de Informação Geográfica (SIG) permite que seja possível ampliar estudos de exigências térmicas, possibilitando a representação da relação entre a temperatura e a distribuição espacial de um organismo (Vanoye-Eligio et al., 2015). No Brasil, Parra (1985) foi um dos pioneiros na utilização de exigências térmicas para o zoneamento de pragas, em seu trabalho com o bicho-mineiro-do-café, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae). Existem hoje muitos exemplos de trabalhos feitos no Brasil (Parra, 1985; Giraldo-Jararamillo et al., 2018; Garcia et al., 2019; Lacerda et al., 2019; Maniero, 2020; Parra et al., 2021)

A abordagem de modelagem assume, muitas vezes, que o principal fator para a dinâmica populacional é a temperatura; contudo, existem diversos fatores que afetam essa dinâmica, como outros fatores climáticos, a planta hospedeira (fenologia da planta) e demais fatores naturais (Barfield e Ashley 1987; Garcia et al., 2019). Isto permite que o modelo represente uma aproximação da dinâmica populacional real, considerando-se que diversos fatores naturais que também influenciam essa dinâmica muitas vezes não são passíveis de serem previstos (Garcia et al., 2019).

A maior parte dos modelos matemáticos propostos para compreender a distribuição e dinâmica foram propostos para espécies de insetos praga. No Brasil foram propostos modelos baseados em exigências térmicas para o zoneamento ecológico para espécies praga como os trabalhos de Cividanes e Parra (1994) que investigaram a distribuição dos percevejos *Nezara viridula* (Linnaeus, 1758), *Piezodorus guildinii* (Westwood, 1837) e *Euschistus heros* (Fabricius, 1798) (Heteroptera: Pentatomidae) em quatro estados brasileiros, de Lacerda et al., (2019) sobre a distribuição de *Opogona sacchari* (Bojer, 1856) (Lepidoptera: Tineidae) pelo Brasil e mais recentemente o trabalho de Parra et al., (2021) que propuseram o zoneamento ecológico do “complexo” *Spodoptera* no Brasil.

Poucos são os trabalhos que aliam a modelagem matemática e o conhecimento de exigências térmicas do inseto para avaliar o zoneamento ecológico de espécies de inimigos naturais. No Brasil, visando compreender a dinâmica de parasitoides foram elaborados trabalhos como o de Garcia et al. (2019) que determinaram as melhores regiões e épocas do ano no estado de São Paulo para a liberação do parasitoide *Tamarixia radiata* (Waterston, 1922) (Hymenoptera: Eulophidae), inimigo natural da praga de Citrus, *Diaphorina citri* (Kuwayama, 1907) (Hemiptera: Psyllidae) e Oliveira

et al. (2021) que estimaram o número de gerações de *T. pretiosum* em ovos de *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1809) (Lepidoptera: Noctuidae) para as regiões do Brasil em quatro estações do ano.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Manutenção da criação de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae)

A população de *S. frugiperda* utilizada foi mantida no Laboratório de Biologia de Insetos, do Departamento de Entomologia e Acarologia da USP/ESALQ, a partir de coletas realizadas em áreas de milho em diferentes partes do Brasil. A população foi criada em dieta artificial, com base na metodologia descrita por Parra (2001), utilizando-se copos de material plástico de 50ml contendo 10 mL da dieta artificial proposta por Greene et al. (1976) (Tabela 1). Quanto ao desenvolvimento, os copos foram tampados com discos feitos de plástico acrílico; em cada copo foram “inoculadas” duas lagartas de *S. frugiperda*, de segundo ínstar. Os copos foram mantidos em salas mantidas a $25\pm 1^{\circ}\text{C}$, umidade relativa (UR) de $70\pm 10\%$ e fotofase de 14 horas.

Tabela 1. Dieta artificial de Greene et al. (1976), adaptada para *Spodoptera frugiperda*.

Componente	Quantidade
Água	3.400mL
Ágar	46g
Feijão	250g
Germe-de-trigo	200g
Caseína	75g
Levedura-de-cerveja	125g
Ácido ascórbico	12g
Mistura vitamínica*	20g
Tetraciclina	250g
Formaldeído 40%	12mL
Nipagin (Metilparahidroxibenzoato)	10mL
Ácido sórbico	6g
Proteína-de-soja	100g

*Niacinamida - 1,0g.; Pantotenato de cálcio - 1,0g.; Riboflavina - 0,5g.; Tiamina - 0,25g.; Piridoxina - 0,25g.; Ácido fólico - 0,25g.; Biotina - 0,02g.; 2,0 mL Cianocobalamina - 350,0 µg/mL; (dissolvidos em 1000 mL de água).

No estágio de pupa, foi realizada a separação por sexo, baseando-se no dimorfismo sexual apresentado por Butt & Cantu (1962); posteriormente, em gaiolas cilíndricas de PVC eram mantidos oito casais separados na fase de pupa, prestes a

emergir. Como fonte de alimento, aos adultos foi disponibilizada uma solução de mel diluído em água destilada a 10% por meio de um disco de algodão Apollo® embebido nesta solução. O interior da gaiola foi revestido com uma folha de papel sulfite que serviu como substrato de postura.

3.2. Manutenção da criação de *Telenomus. remus* (Nixon, 1937) (Hymenoptera: Scelionidae)

A população de *T. remus* utilizada para a realização dos experimentos foi obtida a partir de parasitoides coletados em uma plantação de milho localizada em Piracicaba, São Paulo (22° 41',53" S, 47° 38', 30" W). Para manutenção da qualidade do parasitoide, isolinhagens de *T. remus* foram obtidas por meio de endocruzamentos durante nove gerações, o que, em teoria reduziu a variabilidade genética nuclear em menos de 14% (Li, 1955; Coelho Jr et al., 2016).

Posturas previamente parasitadas por *T. remus* foram mantidas em frascos de vidro de 600 mL vedados com filme de PVC e mantidos em uma câmara climatizada tipo BOD regulada a 25 ± 1 °C, UR de $70 \pm 10\%$ e fotofase de 14h, até o início da emergência da prole.

Após o segundo dia de emergência, cartelas de papel cartão contendo 10 posturas (massas de ovos) de *S. frugiperda* não parasitadas foram oferecidas dentro do frasco de vidro contendo os parasitoides emergidos; na borda da cartela foram dispostas gotículas de mel puro, como fonte de alimento para os adultos. Decorridas 48 horas de parasitismo, as posturas eram removidas do frasco e divididas em dois novos potes, os quais eram mantidos na mesma câmara climatizada citada anteriormente.

3.3. Exigências térmicas para o desenvolvimento de *T. remus*

Para avaliar o efeito da temperatura, fêmeas de *T. remus* foram individualizadas após 24h da sua emergência e mantidas em tubos de vidro de fundo chato (8,5, x 2,5cm) vedados com filme de PVC. No interior do vidro, uma gotícula de mel puro foi fornecida para a fêmea, como fonte de alimento e uma postura média de *S. frugiperda* (em torno de 250 ovos), fixada com cola branca líquida Henkel® em papel cartão, foi oferecida para o parasitismo. Os tubos foram mantidos em câmaras

climatizadas reguladas em oito diferentes temperaturas (18, 20, 22, 25, 28, 30, 33 e $35 \pm 1^\circ\text{C}$) e umidade relativa (UR) de $70 \pm 10\%$; para cada temperatura foram individualizadas 25 fêmeas. Após 24h de parasitismo as fêmeas foram removidas dos tubos e as posturas foram mantidas dentro dos tubos de vidros vedados nas respectivas câmaras climatizadas em que se deu o parasitismo.

O período de desenvolvimento ovo-adulto de *T. remus* em cada temperatura, foi determinado a partir do início da emergência dos parasitoides. Diariamente, foi contabilizado o número de fêmeas e machos que emergiam com o objetivo de determinar a influência da temperatura na razão sexual da espécie; também foram contabilizados o número de ovos parasitados e ovos parasitados que continham orifício de saída, a fim de se determinar a viabilidade do parasitismo.

Da prole de parasitoides foram separadas fêmeas desenvolvidas nas respectivas temperaturas; o processo de disponibilização de alimento e ovos de *S. frugiperda* foi idêntico ao anteriormente citado, com a diferença de que nessa etapa, a fêmea não foi removida após 24h, mas sim a postura era trocada diariamente por uma não parasitada, até a morte da fêmea, para assim, determinar a longevidade do parasitoide em cada temperatura.

As posturas removidas foram individualizadas em tubos de vidro de mesmo tamanho que os utilizados no experimento e armazenadas em uma câmara climatizada do tipo Fitotron (temperatura $25 \pm 1^\circ\text{C}$; UR $70 \pm 10\%$ e fotofase de 14h) até o fim da emergência dos parasitoides. Destas posturas, foram contabilizados o número de ovos parasitados e os ovos parasitados que possuíam orifício de saída.

Os parâmetros biológicos avaliados para a geração parental foram: número de ovos parasitados em 24h, duração do período ovo-adulto, viabilidade do parasitismo e razão sexual. Para a prole, foram avaliados: número de ovos parasitados durante toda a vida da fêmea, longevidade da fêmea e viabilidade do parasitismo.

Utilizando-se o modelo linear, foram estimadas a constante térmica (K) expressa pela equação (1) em graus dias (GD) e o limite térmico inferior ou temperatura base (T_b). O limite térmico superior (T_{max}) foi estimado a partir do modelo de Brière (Brière et al., 1999).

$$K = D(T - T_b) \quad (1)$$

Na qual D corresponde ao valor da duração ovo-adulto e T à temperatura.

3.4. Exigências higrométricas para o desenvolvimento de *T. remus*

O experimento para avaliar influência da umidade relativa (UR) em *T. remus* foi realizado de forma semelhante ao experimento de temperatura (Item 3.3) com a diferença, que para otimizar a transmissão de UR da câmara climatizada com o interior dos tubos de vidro, para a vedação dos tubos, foram utilizadas tampas manufaturadas com silicone e com duas camadas de tecido do tipo “voile” no centro.

Nesta etapa foram avaliadas quatro diferentes UR (30, 50, 70 e 90 ± 10%), com temperatura constante de 25 ± 1°C e fotofase de 14h. Os parâmetros avaliados foram os mesmos do experimento de temperatura; para a geração parental, foram avaliados: número de ovos parasitados em 24h, duração do período ovo-adulto, viabilidade do parasitismo e a razão sexual. Para a prole, foram avaliados: número de ovos parasitados durante toda a vida da fêmea, a longevidade da fêmea e a viabilidade do parasitismo.

3.5. Análises estatísticas dos dados obtidos nos experimentos de exigências térmicas e higrométricas para *T. remus*

A análise dos dados do número de ovos parasitados, foi realizada por meio de modelos lineares generalizados (GLM) do tipo quasi-Poisson, a viabilidade do parasitismo e a razão sexual foram realizadas por GLM do tipo quasi-binomial; para a comparação entre os tratamentos foi utilizado o teste de Tukey com 5% de significância. Para a duração do período ovo-adulto e longevidade da fêmea foi utilizada a curva de sobrevivência de Kaplan-Meier e aplicado o teste log-rank com 5% de significância.

3.6. Tabela de vida de fertilidade de *T. remus* em diferentes temperaturas e umidades relativas

Utilizando-se os dados obtidos nos experimentos descritos anteriormente (Itens 3.3 e 3.4) foram determinados os parâmetros para a tabela de vida de fertilidade de *T. remus*, para oito diferentes temperaturas e quatro diferentes umidades relativas (Itens 3.3 e 3.4). Para elaboração da tabela de vida de fertilidade foram utilizados os valores de longevidade das fêmeas, duração ovo-adulto, viabilidade deste período, período de pré-oviposição, parasitismo diário e razão sexual. Os índices obtidos foram: taxa líquida de reprodução (R_0), capacidade inata de aumentar em número (r_m), razão finita de aumento (λ) e tempo para a população duplicar (TD).

A obtenção destes índices foi realizada segundo Silveira-Neto et al. (1976) e Maia et al. (2000). O cálculo dos índices foi feito a partir das equações:

$$R_0 = \sum mx.lx \quad (2)$$

$$r_m = \frac{\ln R_0}{T} \quad (3)$$

$$\lambda = e^{r_m} \quad (4)$$

$$T = \frac{\ln R_0}{r_m} \quad (5)$$

$$TD = \frac{\ln 2}{r_m} \quad (6)$$

Para a confecção da tabela consideraram-se mx como o número de descendentes produzidos no estágio x (intervalo de idade no qual foi tomada a amostra) e lx (taxa de sobrevivência no estágio x). O valor da duração média de 1 geração (T) foi calculado para o estimar os valores de r_m mas não foram incorporados na tabela de vida de fertilidade.

A comparação estatística dos índices foi realizada através do teste Bootstrap com 10000 simulações (Maia et al., 2000; Reigada et al., 2016).

3.7. Zoneamento de *T. remus* no Brasil

3.7.1. Zoneamento de *T. remus* no Brasil baseando-se em R_0 das diferentes temperaturas e umidades relativas

O zoneamento de *T. remus* em ovos de *S. frugiperda* foi realizado baseando-se nas funções que relacionam R_0 (taxa líquida de reprodução) e as médias mensais das variáveis físicas (temperatura e umidade relativa). Para os valores de temperatura, foi utilizada uma função Gaussiana $G(T)$ e para os valores de umidade relativa foi utilizada uma função linear $L(UR)$, ambas relacionadas com os valores de R_0 . Para gerar uma função 3d e representar os valores de R_0 tanto para temperatura quanto para umidade relativa, ambas as funções foram mescladas, obtendo-se:

$$R_0(T, UR) = G(T) + L(UR) - a(T) - b(UR), \quad (7)$$

As constantes a e b foram determinadas, e os elementos $a(T)$ e $b(UR)$ são termos matemáticos utilizados para normalizar os valores de temperatura e umidade relativa na mesma escala.

Baseando-se nestas funções, foram estimados os valores de R_0 para 106 pontos georreferenciados distribuídos pelo Brasil (Nasa Power, 2022). Os valores de R_0 foram compilados e organizados em forma de um arquivo “shapefile” com o auxílio do *Software* Qgis (QGIS Development Team, 2022).

Foi utilizada a interpolação IDW (Inverso da Distância ao Quadrado), ferramenta que permite a previsão de valores não conhecidos a partir de valores conhecidos previamente disponibilizados, sobre valores de R_0 para cada ponto no mapa, formando então uma representação visual da taxa reprodutiva de *T. remus* no Brasil. Foram projetados ao todo 12 mapas, referente às médias mensais de temperatura e umidade relativa nos pontos pré-definidos.

Zoneamento de *T. remus* baseando-se no número de gerações em áreas de cultivo de milho no Brasil

Utilizando-se os valores obtidos de T_b e K foi calculado o número de gerações que *T. remus* para determinadas regiões, para este cálculo foi utilizada a seguinte equação (Arnold, 1959):

$$G = \frac{N_d(T_a - T_b)}{K} \quad (8)$$

Nesta equação, G é o número de gerações, N_d o número de dias que o cultivo fica em campo pelo período de um ano, T_a a temperatura da região, T_b o limite térmico inferior e K a constante térmica do parasitoide.

Para estimar os valores do número de gerações de *T. remus* por safra foi utilizado o programa computacional criado por Parra et al. (2021) o qual foi desenvolvido em Visual Basics versão 6.0; o referido programa consiste em realizar o cálculo do número de gerações de uma espécie em áreas de cultivos pré-determinadas. No trabalho citado, o programa foi desenvolvido para realizar o cálculo do número de gerações de quatro espécies do “complexo” *Spodoptera* em três tipos de cultivos (milho primeira e segunda safras, algodão e soja). As regiões dos cultivos foram elaboradas em relação a 230 municípios brasileiros e em seus calendários de cultivo.

O cálculo do número de gerações foi realizado baseando-se na equação (8), sendo realizadas alterações no programa para a realização do cálculo para *T. remus*; para isso, os valores de T_b e K foram alterados para os valores correspondentes aos do parasitoide.

Com os valores de T_b e K referentes a *T. remus* e N_d para as regiões com os cultivos de milho de primeira e segunda safras, foram gerados os valores para elaborar os mapas com a representação do número de gerações que o parasitoide teria nessas regiões baseados na temperatura média durante o período de cada safra.

Para a organização dos dados em “shapefile” e a elaboração dos mapas foi utilizado o *Software Qgis* (QGIS Development Team, 2022). Foram elaborados dois mapas representando o número de gerações de *T. remus*, sendo um para os municípios que cultivam o milho de primeira safra e outro para os que cultivam milho de segunda safra.

4. RESULTADOS

4.1. Exigências térmicas para o desenvolvimento de *Telenomus remus* (Nixon, 1937) (Hymenoptera: Scelionidae)

Das oito temperaturas estudadas (18, 20, 22, 25, 28, 30, 33, 35°C), observou-se que *T. remus* apresentou um melhor desempenho de parasitismo na faixa de temperatura entre 25 a 30°C (Tabela 2). A duração do período ovo-adulto de *T. remus* foi variável de 35,2 a 9,3 dias, na faixa de 18 a 33°C, havendo uma tendência de inadequação a partir desta temperatura, com aumento numérico da duração a 35°C (Tabela 2). A faixa de temperatura estudada não afetou a viabilidade da fase imatura de *T. remus* (prole), sendo que em todos os tratamentos este parâmetro biológico foi superior a 99%, valores bastante altos que foram também obtidos por outros autores (Queiroz et al., 2019; Chen et al., 2021) (Tabela 2). Nas temperaturas de 25, 28 e 30°C a razão sexual foi maior que nas demais temperaturas, demonstrando que houve uma maior produção de fêmeas em relação ao número de machos, e em nenhuma temperatura avaliada houve a produção de menos de 60% de fêmeas (Tabela 2).

Tabela 2. Número de ovos parasitados em 24h, duração do período ovo-adulto, viabilidade do parasitismo e razão sexual da isolinhagem de *Telenomus remus* em diferentes temperaturas parasitando ovos de *Spodoptera frugiperda* (UR de 70±10%; fotofase 14h).

Temperatura (°C)	Número de ovos parasitados ¹	Duração ovo-adulto (dias) ²	Viabilidade (%) ¹	Razão Sexual (%) ¹
18	20,84±4,17 a	35,18±0,01 a	99,18±0,33 a	0,66±0,05 a
20	29,8±5,96 ab	22,94±0,09 b	99,1±0,36 a	0,79±0,03 b
22	47,4±9,48 b	18,62±0,08 c	99,3±0,30 a	0,77±0,04 b
25	76,12±15,22 c	13,93±0,04 d	99,6±0,16 a	0,84±0,04 c
28	75,00±15,00 c	11,20±0,06 e	99,6±0,19 a	0,79±0,04 bc
30	82,4±16,48 c	10,08±0,02 fg	99,4±0,19 a	0,83±0,01 bc
33	36,68±7,34 ab	9,31±0,08 h	99,8±0,45 a	0,64±0,04 a
35	41,8±8,26 b	9,72±0,06 gh	99,8±0,39 a	0,70±0,04 a

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey (P≤ 0,05).

²Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de log-rank (P≤ 0,05)

O parasitismo da prole (parasitoides cujos imaturos desenvolveram-se nas diferentes temperaturas) foi maior nas temperaturas de 25 a 33°C. A longevidade das

fêmeas foi maior nas temperaturas de 18 a 30°C, decrescendo nas temperaturas de 33 e 35°C. A viabilidade da geração, produzida por esta prole exposta a diferentes temperaturas foi superior a 97%, portanto, alta, como na geração anterior (Tabela 3).

Tabela 3. Parasitismo total (número de ovos parasitados durante toda a vida da fêmea), longevidade e viabilidade de parasitismo da isolinhagem de *Telenomus remus* cujo imaturo se desenvolveu em diferentes temperaturas em ovos de *Spodoptera frugiperda* (UR de 70± 10%; fotofase 14h).

Temperatura (°C)	Parasitismo total ¹	Longevidade (dias) ²	Viabilidade (%) ¹
18	6,32±1,79 a	8,68±1,01 ab	100,00 ac
20	59,96±5,75 b	10,72±1,14 a	99,87±0,08 ab
22	74,68±9,77 bc	11,08±1,23 a	99,89±0,1 ab
25	112,60±7,01 cd	7,36±0,82 a	99,57±0,16 ab
28	135,16±13,88 d	8,76±1,07 a	97,43±1,07 c
30	136,84±14,54 d	7,83±0,81 a	99,94±0,04 a
33	107,60±9,29 cd	7,14±0,53 b	99,00±0,28 ab
35	52,16±6,94 b	5,60±0,39 b	98,70±0,55 bc

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey (P≤ 0,05)

²Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de log-rank (P≤ 0,05)

A partir do modelo linear, obteve-se o coeficiente de determinação (R²) de 91%; a constante térmica (K) foi estimada em 210,4 GD e o limite térmico inferior (T_b) em 10,6°C e (Figura 1). A partir do modelo de Brière (Brière et al., 1999) obteve-se a temperatura máxima (T_{max}) para *T. remus* como sendo de 35,9°C.

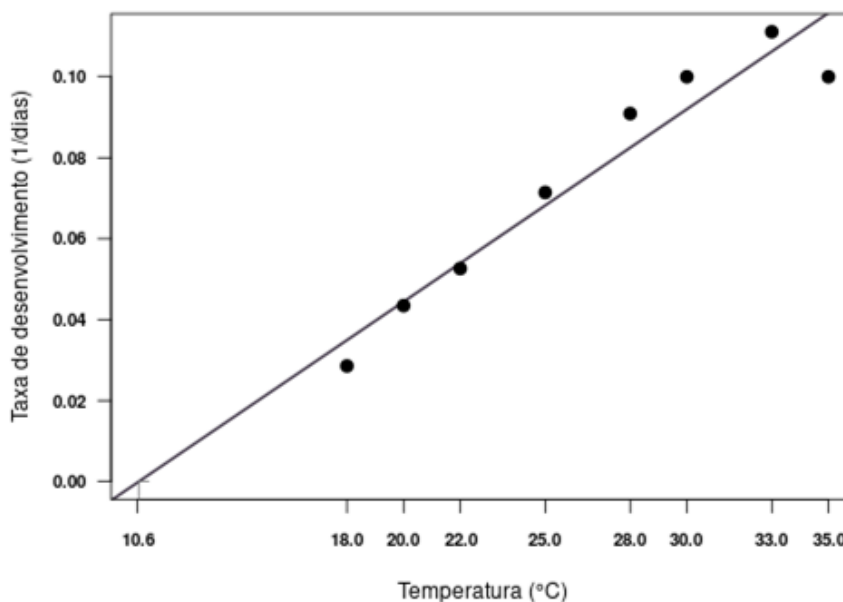


Figura 1. Taxa de desenvolvimento da isolinhagem de *Telenomus remus* em ovos de *Spodoptera frugiperda* em diferentes temperaturas (UR de $70 \pm 10\%$; fotofase 14h).

4.2. Exigências higrométricas para o desenvolvimento de *T. remus*

Ao avaliar o desenvolvimento de *T. remus* nas quatro diferentes umidades relativas (UR) observou-se que o número de ovos parasitados foi afetado na geração parental, na UR de 30%. Na referida UR houve uma redução do número de ovos parasitados, comparado com as demais UR estudadas. A duração do período ovo-adulto, a viabilidade de parasitismo e a razão sexual não foram afetadas pelas diferentes UR (Tabela 4).

No experimento realizado com as fêmeas emergidas da etapa anterior do experimento, cujo desenvolvimento da fase imatura se deu nas diferentes UR, também foram observadas diferenças no número de ovos parasitados (Tabela 5). Fêmeas cujo desenvolvimento imaturo se deu em UR de 50 a 90% apresentaram maior potencial de parasitismo com uma média de 117 a 165 ovos. Fêmeas emergidas de imaturos mantidos na condição de UR de 30%, apresentaram o menor potencial de parasitismo, sendo uma média de 43 ovos durante toda a vida da fêmea (Tabela 5).

A longevidade das fêmeas foi o parâmetro que sofreu a maior influência das diferentes UR. Para este parâmetro biológico de *T. remus* as melhores UR foram de 50 a 90%, nas quais as fêmeas viveram por aproximadamente 6 a 11 dias

respectivamente; baixas UR provocaram um efeito negativo na longevidade, pois a 30% as fêmeas viveram por apenas 2 dias.

Tabela 4. Número de ovos parasitados em 24h, duração do período ovo-adulto, viabilidade do parasitismo e razão sexual da isolinhagem de *Telenomus remus* em ovos de *Spodoptera frugiperda* desenvolvidos em quatro umidades relativas diferentes (Temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$; fotofase 14h).

UR (%)	Número de ovos parasitados ¹	Duração ovo-adulto (dias) ²	Viabilidade (%) ¹	Razão Sexual (%) ¹
30	30,70 \pm 6,14 a	14,66 \pm 0,10 a	99,70 \pm 0,56 a	0,66 \pm 0,06 a
50	48,12 \pm 9,62 b	14,80 \pm 0,05 a	99,90 \pm 0,11 a	0,66 \pm 0,22 a
70	49,92 \pm 10,00 b	14,87 \pm 0,07 a	99,55 \pm 0,35 a	0,64 \pm 0,26 a
90	57,40 \pm 22,32 b	14,20 \pm 0,48 a	99,55 \pm 0,32 a	0,74 \pm 0,17 a

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$)

²Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de log-rank ($P \leq 0,05$)

Tabela 5. Parasitismo total (número de ovos parasitados durante toda a vida da fêmea), longevidade e viabilidade de parasitismo da isolinhagem de *Telenomus remus* cujo imaturo se desenvolveu em diferentes umidades relativas em ovos de *Spodoptera frugiperda* (Temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$; fotofase 14h).

UR (%)	Parasitismo total ¹	Longevidade (dias) ²	Viabilidade (%) ¹
30	43,24 \pm 4,09 a	2,00 \pm 0,16 a	100,00 ab
50	145,32 \pm 61,07 bc	9,58 \pm 0,87 b	99,89 \pm 0,05 a
70	165,04 \pm 76,35 c	11,00 \pm 0,93 b	99,89 \pm 0,04 a
90	117,40 \pm 75,36 b	6,28 \pm 0,91 b	99,81 \pm 0,56 b

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$)

²Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de log-rank ($P \leq 0,05$)

4.3. Tabela de vida de fertilidade de *Telenomus remus* em diferentes temperaturas e umidades relativas

Com os parâmetros obtidos por meio da tabela de vida de fertilidade (Tabela 6) observou-se que para *T. remus* os valores de R_0 (taxa líquida de reprodução nas temperaturas de 22 a 33 °C foram os que apresentaram os maiores valores. Tal resultado aponta que nesta faixa de temperatura *T. remus* apresenta um maior desempenho reprodutivo. As temperaturas de 18, 20 e 35°C apresentaram menores valores de R_0 . Os valores de r_m (capacidade inata de aumentar em número) e λ (razão

finita de aumento) foram superiores no intervalo de temperatura de 25 a 35°C e os valores de TD (tempo para a população duplicar) foram inferiores no intervalo de temperatura de 25 a 35°C.

Os parâmetros obtidos por meio da tabela de vida de fertilidade (Tabela 7) apontaram que, a UR de 30% levou a um menor o valor de R_0 , r_m e λ e registrou um maior valor de TD, quando comparado aos obtidos nas UR de 50, 70 e 90%.

Os valores de T (duração média de 1 geração) para temperatura e UR não levou a um erro associado pelo fato de todas as repetições possuírem os mesmos valores. Os valores correspondentes a T foram apresentados nas tabelas 2 e 4 sendo correspondentes aos valores obtidos na duração do período ovo-adulto.

Tabela 6. Parâmetros estimados para a tabela de vida de fertilidade da isolinagem de *Telenomus remus* em ovos de *Spodoptera frugiperda* em oito temperaturas (UR de 70±10%; fotofase 14h).

Temperatura (°C)	R_0^{a1}	rm^{b1}	λ^{c1}	TD ^{d1}
18	4,325 c (2,722-5,999)	0,040 a (0,028-0,050)	1,041a (1,028-1,052)	17,007 a (13,733-24,827)
20	47,346 a (33,963-61,870)	0,164 b (0,149-0,175)	1,178 b (1,162-1,192)	4,222 b (3,949-4,629)
22	59,32 5ab (42,452-78,170)	0,209 c (0,191-0,224)	1,233 c (1,212-1,251)	3,310 c (3,098-3,603)
25	85,703 b (63,680-109,130)	0,306 d (0,286-0,323)	1,359 d (1,331-1,382)	2,258 d (2,140-2,417)
28	106,101 b (76,492-138,069)	0,405 e (0,377-0,429)	1,500 e (1,458-1,535)	1,709 e (1,616-1,835)
30	108,815 b (81,587-139,224)	0,446 e (0,418-0,469)	1,563 e (1,520-1,598)	1,552 e (1,474-1,656)
33	64,143 ab (47,856-81,461)	0,438 e (0,408-0,4634)	1,549 e (1,503-1,588)	1,582 e (1,496-1,700)
35	42,195 a (27,607-60,024)	0,356 de (0,316-0,390)	1,371 de (1,371-1,477)	1,944 de (1,776-2,197)

^a Taxa líquida de reprodução ^b capacidade do inseto aumentar em número ^c taxa finita de aumento ^d tempo para a população duplicar. Parâmetros comparados por teste Bootstrap (10000 repetições).

¹ Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Bootstrap.

Tabela 7. Parâmetros estimados para a tabela de vida de fertilidade da isolinagem de *Telenomus remus* em ovos de *Spodoptera frugiperda* em quatro UR (Temperatura de 25±1 °C; fotofase 14h).

UR (%)	R ₀ ^{a1}	rm ^{b1}	λ ^{c1}	TD ^{d1}
30	27,399 b (18,602-37,046)	0,228 a (0,201-0,249)	1,256 a (1,222-1,282)	3,036 a (2,784-3,458)
50	84,239 a (65,575-105,399)	0,3057 b (0,288-0,321)	1,357 b (1,333-1,378)	2,266 b (2,158-2,406)
70	98,901 a (77,610-121,750)	0,3168 b (0,299-0,331)	1,372 b (1,350-1,393)	2,187 b (2,092-2,308)
90	80,889 a (59,366-104,985)	0,3029 b (0,281-0,321)	1,353 b (1,324-1,377)	2,287 b (2,162-2,459)

^a Taxa líquida de reprodução ^b capacidade do inseto aumentar em número ^c taxa finita de aumento ^d tempo para a população duplicar. Parâmetros comparados por teste Bootstrap (10000 repetições).

¹ Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Bootstrap

4.4. Zoneamento de *T. remus* no Brasil

Zoneamento de *T. remus* no Brasil baseando-se em R_0 das diferentes temperaturas e umidades relativas

Com os mapas de zoneamento de *T. remus*, construídos a partir dos valores de R_0 , obtidos por meio dos valores das tabelas de vida de fertilidade (Tabelas 6 e 7) em relação às diferentes temperaturas e UR estudadas, foi possível estimar as áreas que seriam mais favoráveis para o maior sucesso reprodutivo, ou seja, áreas onde o inimigo natural se reproduz mais, baseando-se na influência dos fatores abióticos sobre a taxa líquida de reprodução do parasitoide.

As cores preta e roxa no mapa representam as áreas em que os valores de R_0 correspondem às melhores condições termo-higrométricas para *T. remus*. Com isso, é possível estimar que os meses com mais áreas com condições ideais para *T. remus* seriam de setembro até fevereiro. A região Sul foi a região que demonstrou ser menos adequada para o estabelecimento do parasitoide, por ser uma região com um clima mais frio, o qual reduz a capacidade de reprodução do inseto, entretanto, em meses mais quentes como de novembro a março, as condições climáticas nestas regiões possibilitam a multiplicação de *T. remus*.

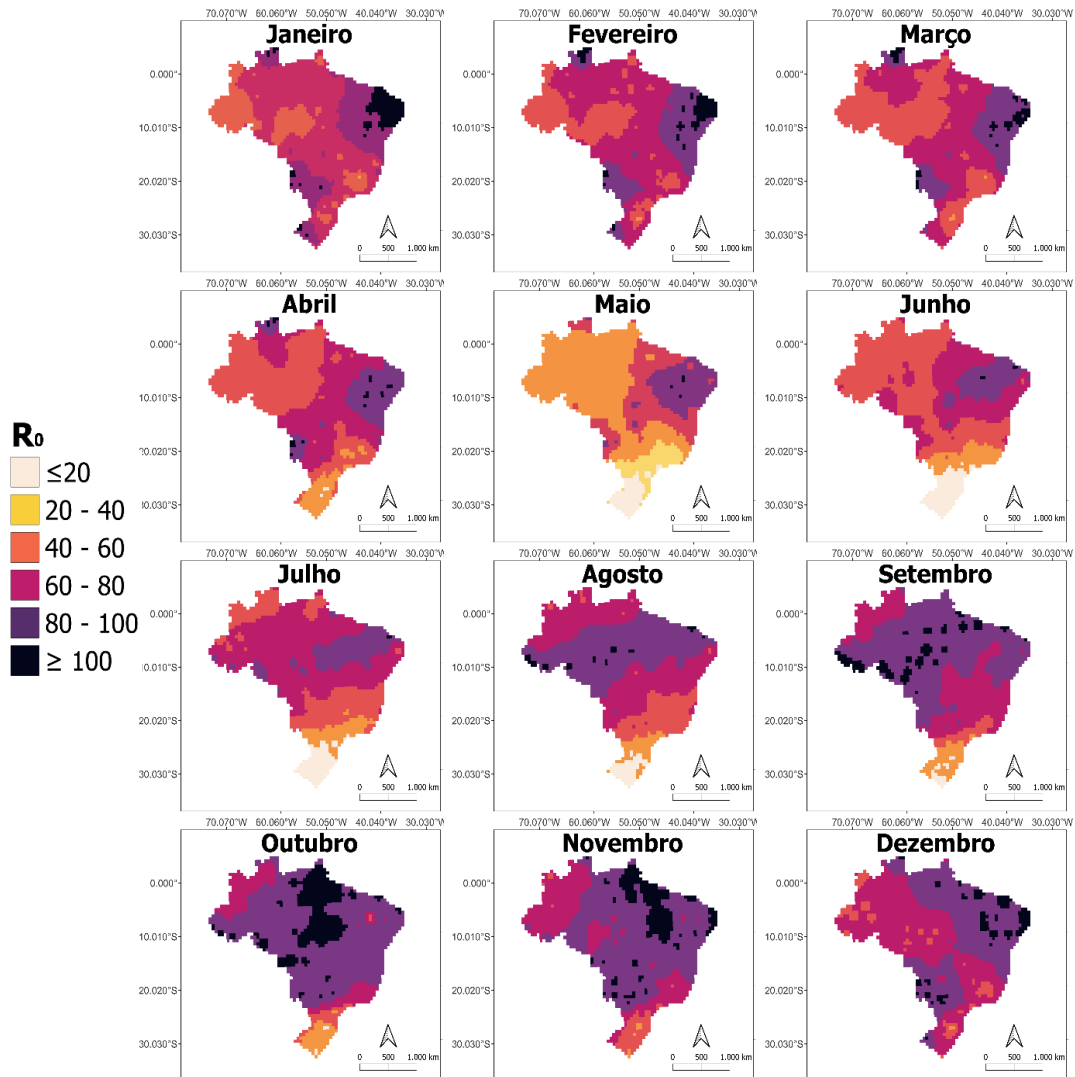


Figura 2. Mapas interpolados produzidos indicando mensalmente a distribuição da isolinhagem de *Telenomus remus* no Brasil, utilizando taxa líquida de reprodução (R_0).

4.4.2 Zoneamento de *T. remus* baseando-se no número de gerações em áreas de cultivo de milho no Brasil

Os mapas que estimam o número de gerações de *T. remus* nos municípios que cultivam milho na primeira e segunda safras (Figuras 3 e 4) foram gerados, podendo então ser observado quantas gerações é possível o parasitoide produzir nestas regiões, baseando-se nos valores de exigências térmicas.

Nessas regiões avaliadas, *T. remus* consegue produzir de 2,5 a 12 gerações. A região Sul do país, que possui clima predominantemente mais frio é uma área em que *T. remus* produz o menor o número de gerações em contraste com as regiões do Norte, Nordeste e Centro Oeste e Sudeste, que por possuírem um clima

predominantemente mais quente, permitem que *T. remus* produza um maior número de gerações (Figuras 3 e 4).

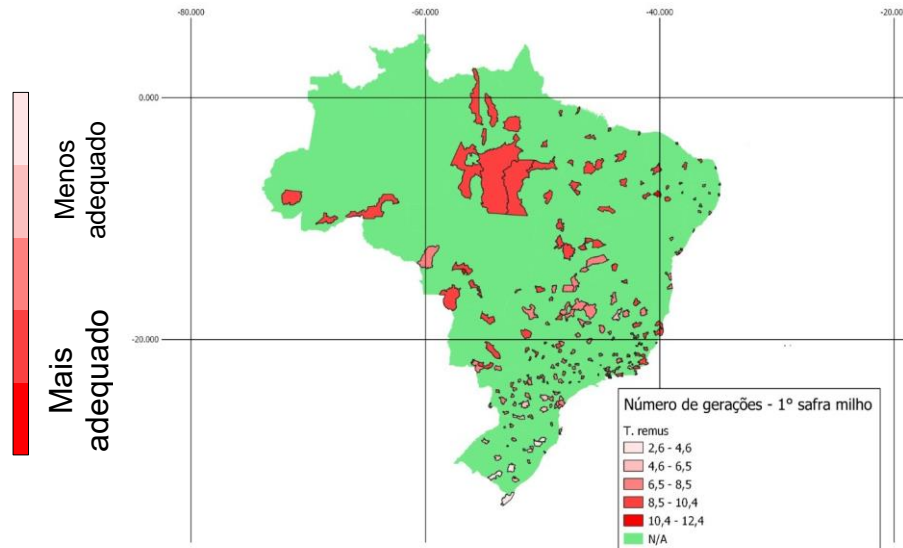


Figura 3. Mapa contendo os valores estimados do número de gerações por ano para a isolinhagem de *Telenomus remus* baseando-se em exigências térmicas e nas regiões de cultivo de milho 1ª safra.

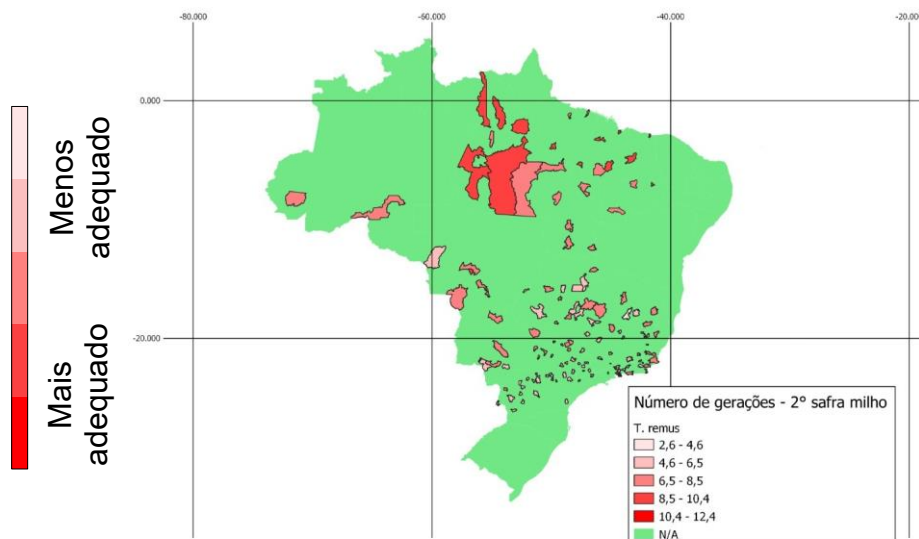


Figura 4. Mapa contendo os valores estimados do número de gerações por ano para a isolinhagem de *Telenomus remus* baseando-se em exigências térmicas e nas regiões de cultivo de milho 2ª safra.

5. DISCUSSÃO

5.1. Exigências térmicas para o desenvolvimento de *Telenomus remus* (Nixon, 1937) (Hymenoptera: Scelionidae)

A partir dos resultados obtidos nos experimentos de exigências térmicas (Tabelas 2 e 3) foi constatado que para a isolinhagem de *T. remus* utilizada, o maior parasitismo ocorreu na faixa entre 25 a 30°C. A viabilidade de parasitismo de *T. remus* em ovos de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) foi alta, sendo superior a 97% em todas as temperaturas estudadas, valores que também foram obtidos em outros trabalhos com a espécie *T. remus* (Queiroz et al., 2019; Chen et al., 2021).

A produção de um maior número de fêmeas é desejável em programas de controle biológico, visto que as fêmeas são as responsáveis pelo parasitismo (Navarro, 1998; Bueno et al., 2008). No presente estudo, em todas as temperaturas houve predominância de fêmeas, mostrando que a temperatura afetou igualmente os sexos (Tabelas 2 e 3).

A duração do período ovo-adulto foi decrescente na faixa de 18 a 33°C e a partir desta temperatura houve um acréscimo na duração, provavelmente, como um indicativo da proximidade do limite térmico superior, ou seja, a proximidade de uma condição térmica inadequada (Tabela 2).

Os valores de limite térmico inferior (T_b) e constante térmica (K) obtidos (Item 4.1) foram diferentes daqueles relatados por Bueno et al. (2008) e Pomari et al., (2012). O valor de T_b obtido foi menor comparado àquele referido nos dois trabalhos citados anteriormente; a diferença de valor, provavelmente, ocorreu em decorrência da origem da população dos parasitoides utilizados nos trabalhos de Bueno et al. (2008) e de Pomari et al. (2012), pois neles foram utilizados indivíduos de uma população cedida pela EMBRAPA Milho e Sorgo, oriunda da Venezuela (Wengrat et al., 2021) e que permaneceu em condições de laboratório por diversos anos. Este longo período de tempo pode ter determinado a degeneração da população. No presente experimento (item 3.3), foi utilizada uma isolinhagem de *T. remus* coletada em Piracicaba, São Paulo (2° 41,716' S e 47° 38, 478 W) no ano de 2019. O valor de T_b obtido no presente trabalho, 10,6°C pode ser consequência de se tratar de uma população recém introduzida em laboratório e por se tratar de uma isolinhagem,

condições diferentes daquelas citadas pelos autores referidos. O limite térmico superior da espécie, que foi calculado como sendo de 35,9°C foi determinado pela primeira vez no país. A constante térmica de 210,4 GD ao lado da temperatura base determinada, ou seja, 10,6°C poderão facilitar a logística de produção massal do inimigo natural em biofábricas de macroorganismos ou mesmo em populações utilizadas para pesquisa.

5.2. Exigências higrométricas para o desenvolvimento de *T. remus*

Para *T. remus* em ovos de *S. frugiperda*, poucos parâmetros foram afetados pelas diferentes UR. Para a primeira etapa do experimento (item 3.4), na qual foi avaliado o parasitismo por 24h e o desenvolvimento dos ovos nas diferentes UR, o número de ovos parasitados foi menor na UR de 30%; no trabalho de Pomari et al. (2014) em que foi comparado o parasitismo de *T. remus* em ovos de *S. frugiperda* e *Corcyra cephalonica* (Stainton, 1863) (Lepidoptera: Pyralidae) o número de ovos parasitados não foi afetado pela UR, entretanto, a menor UR utilizada foi a de 40%. Assim, os resultados obtidos na presente pesquisa (Tabelas 4 e 5) mostraram que UR inferiores a 30% são prejudiciais ao parasitoide.

A duração do período ovo-adulto não foi afetada pelas diferentes UR, tendo duração de aproximadamente 14 a 15 dias, sendo que para a espécie estudada ocorre a protandria, pois no primeiro dia há a emergência predominantemente de machos e no segundo dia há a emergência das fêmeas, como descrito por Cave (2000). A viabilidade do parasitismo também não foi afetada pelas diferentes UR; em todos os tratamentos, foi superior a 99%. (Tabela 4 e 5).

Para a segunda parte do experimento (item 3.4), no qual as fêmeas foram submetidas às diferentes UR por toda a vida, o número de ovos parasitados, assim como na primeira parte do experimento (item 3.3), também foi afetado, sendo que a 30% foram parasitados aproximadamente 40 ovos, por toda a vida da fêmea e nas UR de 50 e 70% UR, o número de ovos parasitados foi superior a 145, havendo a 90% uma queda no número de ovos parasitados, sendo de aproximadamente 117 ovos. Uma explicação para este resultado pode estar relacionada à longevidade das fêmeas, pois nos extremos das UR, os insetos viveram menos.

Foi verificado por van Welzen & Waage (1987) que o número máximo de ovos parasitados por *T. remus* ocorre do primeiro ao terceiro dias, e Pomari et al. (2014)

observou que 80% do parasitismo de *T. remus* ocorre nos primeiros 5 dias de vida do parasitoide. Assim, o baixo número de ovos parasitados pelas fêmeas que estavam a 30% de UR e que viveram aproximadamente 2 dias, explica o baixo parasitismo nesta condição (Parra e Sales, 1994; Pomari et al., 2014) bem como aquelas mantidas a 90%. A 50 e 70% de UR os insetos viveram e parasitaram mais (Tabela 5).

5.3. Tabela de vida de fertilidade de *T. remus* em diferentes temperaturas e umidades relativas

Os valores obtidos na tabela de vida de fertilidade (Tabela 6) demonstraram que visando à criação massal deste parasitoide, mantê-los sob temperaturas no intervalo de 22 a 33°C possibilitará um maior desempenho reprodutivo para a espécie, sendo o mais desejável. Nas temperaturas de 20 e 35°C há uma diminuição do desempenho reprodutivo, mas como mostrado pelos valores de taxa líquida de reprodução (R_0), ainda é possível haver a criação ou existência do parasitoide em uma região com essas temperaturas. A temperatura de 18°C acarretou uma diminuição drástica nos valores de R_0 e na capacidade inata de aumento em número (rm), não sendo uma condição adequada para que se manter uma população de *T. remus*.

Os parâmetros obtidos através da tabela de vida e fertilidade (Tabela 7) apontaram que nas umidades de 50, 70 e 90% os valores de R_0 são superiores. Visando à criação massal de *T. remus*, manter os parasitoides em UR superiores a 50% seria adequado, pois nestas UR o parasitoide apresenta um maior desempenho reprodutivo.

5.4. Zoneamento de *T. remus* no Brasil

5.4.1. Zoneamento de *T. remus* no Brasil baseando-se em R_0 das diferentes temperaturas e umidades relativas

Foram utilizados os valores de R_0 da tabela de vida de fertilidade para realizar o zoneamento de *T. remus*. Os trabalhos que realizam o zoneamento de insetos pragas ou inimigos naturais geralmente utilizam o número de gerações e valores de temperatura para estimar a distribuição do inseto (Lacerda et al., 2019). Escolheu-se utilizar valores de R_0 pois eles permitem uma maior precisão para determinar o

crescimento populacional de uma espécie, pois ele leva em conta valores de fertilidade e sobrevivência e com isso, é possível ter uma estimativa mais aproximada das áreas mais favoráveis para a ocorrência de *T. remus* no Brasil.

Baseando-se nos valores de R_0 e nos limites térmicos, foi possível determinar que a espécie tem uma preferência por áreas com temperaturas e UR mais elevadas. Os valores poderão ser validados ao observar o local de origem de *T. remus* e nas regiões nas quais a espécie já foi relatada.

T. remus é originário da região da Papua-Nova Guiné (Wengrat et al., 2021), país de clima tropical com temperatura média de 26°C e UR média superior a 75% (Weather Spark, 2022). Os insetos que foram utilizados para a isolinhagem utilizada nos experimentos do presente trabalho foram coletados em Piracicaba, São Paulo, uma região tropical, com temperaturas médias que variam de 18 a 24°C e UR média de 59 a 77% (Weather Spark, 2022). Também foi relatada a presença de *T. remus* parasitando ovos de *S. fugiperda* em campos de milho na Nigéria (Kenis et al., 2017; Ogunfunmilayo et al., 2021), país de clima tropical, com temperaturas médias variando de 23 a 29°C e UR média de 75 a 87% (Weather Spark, 2022). As condições climáticas dessas regiões correspondem às condições ideais para a espécie de acordo com as exigências termo higrométricas estimadas. Outras localidades que *T. remus* também foi relatado de forma natural são algumas regiões do sul da Índia (Firake e Behere, 2020; Navik et al., 2021), com temperaturas médias entre 23 a 28°C e UR entre 40 a 50% no inverno e 60 a 70% nas demais estações do ano (Weather Spark, 2022). No Brasil também foi encontrado *T. remus* em São José dos Pinhais, Paraná (Wengrat et al., 2021), cidade que possui temperaturas mais frias comparado às demais localidades relatadas anteriormente, com temperaturas médias variando de 13 a 20°C e UR de 58 a 95% (Weather Spark, 2022).

A princípio, analisando apenas os resultados obtidos nos experimentos de exigências térmicas e com o conhecimento do país de origem de *T. remus* seria possível inferir que esta espécie apresenta preferência por regiões que possuam temperaturas predominantemente elevadas, sendo superiores a 25°C e regiões com UR altas, superiores a 50%, diferentemente de São José dos Pinhais nas qual a espécie foi relatada. A provável ocorrência nesta região pode-se dar devido à seleção de linhagens adaptadas às condições adversas de temperatura e UR (Pak e Van Heinigen; 1985; Pak, 1988). Outro aspecto que também é importante a ser destacado é que os resultados apresentados nos mapas (Figura 2) utilizam os valores médios

mensais de temperatura e UR das regiões, com uma visão macroclimática, ou seja, valores que não representam as variações climáticas existentes e nem os dados microclimáticos.

A existência de microclimas faz com que não seja possível ter com precisão a previsão da possível existência do inseto em uma área, utilizando técnicas de zoneamento ecológico. Isto ocorre, pois, ao utilizar valores médios de uma região não se obtêm valores que representam a realidade, mas sim uma visão macroclimática, visão que exclui flutuações diárias de temperatura e UR, e variações que existem em áreas com diferentes tipos de configurações, como áreas de cultivo, matas, e áreas urbanas. Apenas validações locais poderão esclarecer estas dúvidas.

Assim, em algumas regiões do Brasil, principalmente áreas que possuem déficit hídrico, a produção de milho ocorre em milho irrigado (Albuquerque, 2014). A irrigação em áreas de cultivo faz com que no seu interior haja a redução da temperatura e o aumento da UR, comparados a áreas próximas (Tolk et al., 1995; Cavero et al., 2009).

5.4.2. Zoneamento de *T. remus* baseando-se no número de gerações em áreas de cultivo de milho no Brasil

Outra forma de zoneamento realizada no presente trabalho foi com a elaboração de mapas que contemplaram as áreas e períodos de primeira e segunda safras de milho. Neste tipo de zoneamento foi possível ter uma visualização que associou a possível existência do parasitoide nessas regiões nos períodos de cultivo de milho, cultura que no Brasil é predominantemente atacada por *S. frugiperda* e estimar o número de gerações que *T. remus* produziria, se presente nestas áreas durante os períodos de safra.

Correlacionando os valores obtidos nos mapas do presente trabalho (Figuras 3 e 4) com os mapas projetados para as quatro principais espécies de *Spodoptera* spp. no trabalho de Parra et al. (2021) foi possível observar que nas mesmas regiões, *T. remus* produziria cerca de 2 a 4 vezes mais gerações, comparado a *S. frugiperda*. As regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste e Sudeste, regiões que possuem valores de temperaturas mais elevados, ambos os insetos produzem um maior número de gerações. A região Sul, com destaque para os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul são as regiões menos favoráveis. Com isso, é possível determinar que

para a maior parte das regiões produtoras de milho, seja para primeira ou segunda safras, as condições de temperatura são favoráveis para *S. frugiperda* e também para *T. remus*, sendo que enquanto *S. frugiperda* conseguiria produzir de 4 a 6 gerações nas regiões produtoras com as temperaturas mais favoráveis para a espécie, *T. remus* conseguiria produzir de 10 a 12 gerações nas mesmas condições para ambas as safras.

Como referido anteriormente, técnicas de zoneamento não apontam com precisão a realidade encontrada na natureza, entretanto, mesmo sem a precisão dos valores, a realização do zoneamento para um inseto é de suma importância, pois permite ter uma visão mais ampla da possibilidade de presença ou não de um inseto em uma região e também auxilia na otimização de programas de manejo integrado de pragas, ao estimar as épocas mais propícias para a liberação de um inimigo natural, baseando-se nos fatores climáticos das regiões. Contudo, sempre que possível devem ser feitas validações do modelo de zoneamento desenvolvidos nas condições locais em que se pretende fazer o programa de controle biológico.

6. CONCLUSÕES

Com base nos estudos com a isolinhagem de *Telenomus remus* (Nixon, 1937) pode-se concluir que:

- As temperaturas mais adequadas para o desenvolvimento e parasitismo da isolinhagem de *T. remus* estão no intervalo de 25 a 30°C;
- As melhores umidades relativas (UR) para o desenvolvimento e parasitismo de *T. remus* estão no intervalo de 50 a 90%;
- As isolinhagens de *T. remus* tem como constante térmica (K) o valor de 210,4 GD e limites inferior (T_b) e superior (T_{max}) de desenvolvimento os valores de 10,6 e 35,9°C, respectivamente;
- Nas faixas térmicas entre 25 e 30°C e de UR entre 50 e 75% ocorrem os maiores valores de taxa líquida de reprodução (R₀) da espécie de parasitoide estudada;
- Os zoneamentos baseados em R₀ e em número de gerações mostram que nas regiões Norte, Nordeste, Centro Oeste e Sudeste do Brasil, estão as áreas mais adequadas para o estabelecimento e multiplicação de *T. remus*, especialmente nos meses de setembro a fevereiro;
- A região Sul, mais fria, nestes zoneamentos, oferece boas condições para o parasitoide apenas de novembro a março;
- Nas mesmas condições climáticas que *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797), *T. remus* pode produzir de 4 a 6 vezes mais gerações em ambas as safras de milho, em relação à praga;
- A primeira safra de milho no Brasil, apresenta um número maior de regiões favoráveis para a multiplicação de *T. remus*, sendo então a mais adequada para a liberação dos parasitoides visando ao controle de *S. frugiperda*.

REFERÊNCIAS

- ADAMCZYK, J.J. Jr.; SUMERFORD, D.V. Potential factors impacting season-long expression of Cry1Ac in 13 commercial varieties of Bollgard cotton. **Journal of Insect Science** (Online), v. 1, n. 13, p. 1-6. 2001.
- ALAM, M. M. Attempts at the biological control of major insect pests of maize in Barbados, W. I. **Proceedings of the Caribbean Food Crops Society**, Bridgtown, v. 15, p. 127-135. 1978.
- ALBUQUERQUE, P.E.P. A necessidade de irrigar o milho. **EMBRAPA - Milho e Sorgo** 2014. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/culturas/milho/artigo/a-necessidade-de-irrigar-o-milho_160130.html> Acesso em 28 de jun. 2022.
- ALI, A.; YOUNG, Y. Influence of larval age and temperature on effectiveness of a nuclear polyhedrosis virus in the soybean looper, *Pseudoplusia includens* (Lepidoptera: Noctuidae) on soybean. **Biological Control**, Orlando, v. 1, p. 334-338, 1991.
- ANDRADE, G.S.; PRATISSOLI, D.; DALVI, L.P.; DESNEUX, N.; SANTOS JÚNIOR, H.J.G. Performance of four *Trichogramma* species (Hymenoptera: Trichogrammatidae) as biocontrol agents of *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) under various temperature regimes. **Journal of Pest Science**, Heidelberg, v. 84 p. 313-320, 2011.
- ARNOLD, C.Y. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. **Proceeding of the American Society of Horticulture Science**, College Park, v. 74, p. 430-435, 1959.
- ASHLEY, T.R.; WISEMAN, B.R.; DAVIS, F.M; ANDREWS, K.L. The fall armyworm: a bibliography. **Florida Entomologist**, Gainesville, v. 72, n. 1, p. 152-202, 1989.
- BALE, J.S.; VAN LENTEREN, J.C.; BIGLER, F. Biological control and sustainable food production. *Philos. Philosophical Transactions of the Royal Society B. Biological Science*. v. 363, p. 761–776, 2008.
- BARFIELD, C.S.; ASHLEY, T.R. Effects of corn phenology and temperature on the life cycle of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Florida Entomologist**, Florida, v. 70, n. 1, p. 110-117, 1987.

- BARRETT, M.; SCHMIDT, J.M. A comparison between the amino acid composition of an egg parasitoid wasp and some of its hosts. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Doedrecht, v. 59, p. 29-41, 1991.
- BAZZOCCHI, G.G.; LANZONI, A.; BURGIO, G.; FIACCONI, M.R. Effects of temperature and host on the pre-imaginal development of the parasitoid *Diglyphus isaea* (Hymenoptera: Eulophidae). **Biological Control**, Orlando, v. 26 n. 1, p. 74-82, 2003.
- BERNARDI, O.; DOURADO, P.M.; CARVALHO, R.A.; MARTINELLI, S.; BERGER, G.U.; HEAD, G.P.; OMOTO, C. High levels of biological activity of Cry1Ac protein expressed on MON 87701xMON 89788 soybean against *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae). **Pest Management Science**, Sussex, v. 70, n. 4, p. 588-594, 2014.
- BESERRA, E.B.; PARRA, J.R.P. Comportamento de parasitismo de *Trichogramma atopovirilia* Oatman & Platner e *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera, Trichogrammatidae) em posturas de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera, Noctuidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v.47, n.2, p.205-209, 2003.
- BRIÈRE, J.F.; PRACROS, P.; LE ROUX, A.Y.; PIERRE, J.S. A novel rate model of temperature-dependent development for arthropods. **Environmental Entomology**, Lanham, v. 28, n. 1, p. 22-29, 1999.
- BRUCE, A.; SCHULTHESS, F.; MUEKE, J. Host acceptance, suitability, and effects of host deprivation on the West african egg parasitoid *Telenomus isis* (Hymenoptera: Scelionidae) reared on east African stemborers under varying temperature and relative humidity regimens. **Environmental Entomology**, College Park, v. 38, n. 3, p. 904-919, 2009.
- BUENO, R.C.O.F.; CARNEIRO, T.R.; PRATISSOLI, D.; BUENO, A.F.; FERNANDES, O.A. Biology and thermal requirements of *Telenomus remus* reared on fall armyworm *Spodoptera frugiperda* eggs. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, p.1-6, 2008.
- BUTT, B.A.; CANTU, E. **Sex determination of lepidopterous pupae**. Washington: USDA, 1962. 7p.

- CASMUZ, A.; JUÁREZ, M.L.; SOCÍAS, M.G.; MURÚA, M.G.; PRIETO, S.; MEDINA, S.; WILLINK, E.; GASTAMINZA, G. Revisión de los hospedeiros del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Revista de la Sociedad Entomológica Argentina**, La Plata, v. 69 p. 209–231, 2010.
- CAVE, R.D. Biology, ecology and use in pest management of *Telenomus remus*. **Biocontrol News and Information**, Wallingford, v.21, n.1, p. 21-26, 2000.
- CAVE, R.D.; ACOSTA, N.M. *Telenomus remus* Nixon: um parasitoide en el control biologico del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (Smith). **Ceiba**, La Ceiba, v.40, p. 215-227, 1999.
- CAVERO, J.; MEDINA, E.T.; PUIG, M.; MARTÍZ-COB, A. Sprinkler Irrigation Changes Maize Canopy Microclimate and Crop Water Status, Transpiration, and Temperature. **Agronomy Journal**, Hobokenv. 101, n. 4, p. 854-864, 2009.
- CHAKRABORTY, S. Potential impact of climate change on plant-pathogen interactions. **Australasian Plant Pathology**, Geelong v. 34, p. 443-448, 2005.
- CHAPMAN, R.F. **The insects: structure and function**. Cambridge University Press, Cambridge, 1998.
- CHEN, W.; LI, Y.; WANG, M.; MAO, J.; ZHANG, L. Evaluating the potential of using *Spodoptera litura* eggs for mass-rearing *Telenomus remus*, a promising egg parasitoid of *Spodoptera frugiperda*. **Insects**, Basel, v. 12, n. 5, p. 384, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/insects12050384>
- CIVIDANES, F. J.; PARRA, J. R. P. Biologia em diferentes temperaturas e exigências térmicas de percevejos pragas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 29, n. 12. p. 1841-1846. 1994.
- CLARK, P.L.; MOLINA-OCHOA, J.; MARTINELLI, S.; SKODA, S.R.; ISENHOUR, D.I.; LEE, D.J.; KRUMM, J.T.; FOSTER, J.E. Population variation of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in western hemisphere. **Journal of Insect Science** (Online), v. 7, n. 5, 2007.
- COELHO JUNIOR, A.; JR, RUGMAN-JONES, P.F.; REIGADA, C.; STOUTHAMER, R.; PARRA, J.R.P. Laboratory Performance Predicts the Success of Field Releases in Inbred Lines of the Egg Parasitoid *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **PLoS ONE**, San Francisco, v. 11, n. 1, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146153>

- COLMENAREZ, Y.C.; BABENDREIER, D.; WURST, F.R.F.; VÁSQUEZ-FREYTEZ, C.L.; BUENO, A.F. The use of *Telenomus remus* (Nixon, 1937) (Hymenoptera: Scelionidae) in the management of *Spodoptera* spp.: potential, challenges and major benefits. **CABI Agriculture and Bioscience**, (Online), v. 3, n. 5, 2022.
- CÔNSOLI, F.L.; KITAJIMA, E.W.; PARRA, J.R.P. Ultrastructure of the natural and factitious host eggs of *Trichogramma galloi* Zucchi and *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **International Journal of Insect Morphology and Embriology**, Oxford, v. 28, p. 211-229, 1999.
- CRUZ, I. **A lagarta-do-cartucho na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 1995. 45p. (Embrapa-CNPMS. Circular Técnica, 21)
- CRUZ, I.; FIGUEIREDO, M.L.C. **Estudos preliminares do parasitoide *Telenomus* sp. Nixon sobre ovos de *Spodoptera frugiperda***. Sete Lagoas: EMBRAPA - CNPS, 1994. 109 p.
- DEBACH, P.H., The scope of biological control. DeBach, P.H., **Biological Control of Insect Pests and Weeds**. Londres. Chapman and Hall Ltd. 1964. Cap. 1, p. 3-20.
- DEUTSCH, C. A.; TEWKSBURY, J. J.; HUEY, R. B.; SHELDON, K. S.; GHALAMBOR, C. K.; HAAK, D. C.; MARTIN, P. R. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. PNAS - **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America** (Online), v. 105, n. 18, p. 6668–6672, 2008. Disponível em: <<https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.0709472105>> Acesso em 28 de jun. 2022.
- EMANA, G.D. Comparative studies of the influence of relative humidity and temperature on the longevity and fecundity of the parasitoid, *Cotesia flavipes*. **Journal of Insect Science** (Online), v. 7, n. 1 p. 1-7, 2007.
- EPPO *Spodoptera frugiperda* detected in Northern Territory, Australia. European and Mediterranean Plant Protection Organization—**EPPO**, 2020. Disponível em: <<https://gd.eppo.int/reporting/article-6749>> Acesso em 28 de jun. 2022.
- FATORETTO, J.C.; MICHEL, A.P.; SILVA FILHO, M.C.; SILVA, N. Adaptive potential of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) limits Bt trait durability in Brazil. **Journal of Integrated Pest Management**, Lanham, v. 8 p. 1-10, 2017.
- FERRER, F. Biological of agricultural insect pest in Venezuela: advances, achievements, and future perspectives. **Biocontrol News and Information**, Heidelberg, v. 22, p. 67-74, 2001.

- FIGUEIREDO, M.L.C.; LUCIA, T.M.C.D.; CRUZ, I. Effect of *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera: Scelionidae) density on control of *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) egg masses upon release in a maize field. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 1, n. 2, p. 12-9. 2002.
- FIGUEIREDO, M. L. C.; MARTINS-DIAS, A. M. P.; CRUZ, I. Relação entre a lagarta do cartucho e seus agentes de controle biológico natural na produção de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 1693-1698, 2006.
- FIRAKE, D.M.; BEHERE, G.T. Natural mortality of invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize agroecosystems of northeast India. **Biological Control**, Orlando, v. 148, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104303>>
- GANIGER, P.C.; YESHWANTH, H.M.; MURALIMOHAN, K.; VINAY, N.; KUMAR, A.R.V.; CHANDRASEKHAR, K. Occurrence of new invasive pest, fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera Noctuidae), in the maize field of Karnataka, India. **Current Science**, Bangalore, v. 115 p. 621–623, 2018.
- GARCIA, A.G.; DINIZ, A.J.F.; PARRA, J.R.P. A fuzzy-based index to identify suitable areas for host-parasitoid interactions: case study of the Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* and its natural enemy *Tamarixia radiata*. **Biological Control**, Orlando, v. 135, p. 135-140, 2019.
- GARCIA-ROA, F. Control biológico, microbiológico y físico de *Spodoptera frugiperda*, plaga de maíz y otros cultivos en Colombia. **CORPOICA**, Bogotá, p. 18. 1999. Disponível em: <<https://www.cabi.org/wp-content/uploads/Garcia-1999-IPM-of-Spodoptera-frugiperda.pdf>> Acesso em 28 de jun. 2022.
- GAUTAM, R.D. Effect of different temperatures and relative humidities on the efficiency of parasitoid, *Telenomus remus* Nixon (Scelionidae: Hymenoptera) in the laboratory. **Journal of Entomological Research**, New Delhi, v. 10, n. 1, p. 34-39, 1986.

- GIRALDO-JARAMILLO, M.; GARCIA, A.G.; PARRA, J.R.P. Biology, thermal requirements and estimation of the number of generations of *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae) in the state of São Paulo, Brazil. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 111, n. 5, p. 2192-2200, 2018.
- GODFREY, H.C.J.; WAAGE, J.K. Predictive modeling in biological control: The mango mealy bug (*Rastrococcus invadens*) and its parasitoids. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, p.28, p.434-453, 1991.
- GOERGEN, G.; KUMAR, P.L.; SANKUNG, S.B.; TOGOLA, A.; TAMÒ, M. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in west and central Africa. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 11 n. 10 p. 1-9, 2016.
- GOOLSBY, J.A.; DE BARRO, P.J.; KIRK, A.A.; SUTHERST, R.W.; CANAS, L.; CIOMPERLIK, M.A.; ELLSWORTH, P.C.; GOULD, J.R.; HARTLEY, D.M.; HOELMER, K.A.; NARANJO, S.E.; ROSE, M.; ROLTSCH, W.J.; RUIZ, R.A.; PICKETT, C.H.; VACEK, D.C. Post-release evaluation of biological control of *Bemisia tabaci* biotype "B" in the USA and the development of predictive tools to guide introductions for other countries. **Biological Control**, Orlando, v. 32, n.1, p. 70-77, 2005.
- GREENE, G.L.; LEPLA, N.C.; DICKERSON, W.A. Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 69, n.4, p. 488-497, 1976.
- GUPTA, M.; PAWAR, A.D. Multiplication of *Telenomus remus* Nixon on *Spodoptera litura* (Fabricius) reared on artificial diet. **Journal of Advanced Zoology**, Gorakhpur, v.6, p.13-17, 1985.
- GUTIÉRREZ-MORENO, R.; MOTA-SANCHEZ, D.; BLANCO, C.A.; WHALON, M.; TERÁN-SANTOFIMIO, H.; RODRIGUEZ-MACIEL, J.C.; DIFONZO, C. Field-evolved resistance of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to synthetic insecticides in Puerto Rico and Mexico. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 112, n. 2, p. 792-802, 2019.
- HARRISON, W.W.; KING, E.G.; OUZTS, J.D. Development of *Trichogramma exiguum* and *T. pretiosum* at five temperature regimes. **Environmental Entomology**, London, v. 14, n. 2, p. 118-121, 1985.

- HERNÁNDEZ, D.; FERRER, F.; LINARES, B. Introducción de *Telenomus remus* Nixon (Hy.: Scelionidae) para controlar *Spodoptera frugiperda* (Lep.: Noctuidae) em Yaritagua-Venezuela. **Agronomia Tropical**, Maracay, v. 39 p. 199-205, 1989.
- INWARD, D.J.G.; WAINHOUSE, D.; PEACE, A. The effect of temperature on the development and life cycle regulation of the pine weevil *Hylobius abietis* and the potential impacts of climate change. **Agricultural and Forest Entomology**, Saint Albans, v. 14, n. 4, p. 348-357, 2012.
- KENIS, M.; HURLEY, B.P.; HAJEK, A. E.; COCK, M.J. Classical biological control of insect pests of trees: Facts and figures, **Biological Invasions** (Online), v. 19 n. 11 p. 3401-3417, 2017.
- KNIPLING, E.F. Regional management of the fall armyworm – a realistic approach? **Florida Entomologist**, Ottawa, v. 63, n.4, p. 468-480, 1980.
- LACERDA, L.F.; COELHO JUNIOR, A.; GARCIA, A.G.; SENTELHAS, P.C.; PARRA, J.R.P. Biology at different temperatures, thermal requirements, and ecological zoning of *Opogona sacchari* (Lepidoptera: Tineidae). **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v.10, n.10, p. 1-7, 2019.
- LI, B.P.; MILLS, N. The influence of temperature on size as an indicator of host quality for the development of solitary koinobiont parasitoid. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Doedrecht, v. 110, n. 3, p. 249-256, 2004.
- LI, C.C. **Population Genetics**. Chicago: University of Chicago Press, 1955.
- LINARES, B. Farm family rearing of egg parasites in Venezuela. **Biocontrol News and Information** (Online), v. 19 76N. 1998.
- MAIA, H.N.M.; LUIZ, A.J.B.; CAMPANHOLA, C. Statistical inference on associated fertility life table parameters using jackknife technique: computational aspects. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 93, n. 2, p. 511-518, 2000.
- MANIERO, L.R. **Exigências térmicas e higrométricas de *Euschistus heros* (Fabricius, 1798) (Hemiptera: Pentatomidae), criado em dietas natural e artificial, visando ao zoneamento da praga no Brasil**. Tese (Mestrado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020.
- MAPA (2020) Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons> Acesso em 28 de jun. 2022.

- MONTEZANO, D.G.; SPECHT, A.; SOSA-GÓMEZ, D.R.; ROQUE-SPECHT, V.F.; SOUSA-SILVA, J.C.; PAULA-MORAES, S.V.; PETERSON, J.A.; HUNT, T.E. Host Plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas, **African Entomology**, Pretoria, v. 26 n. 2, p. 286- 300, 2018.
- MORALLES, J.; GALLARDO, J.S.; VÁSQUEZ, C.; RÍOS, Y. Patrón de emergencia, longevidad, parasitismo y proporción sexual de *Telenomus remus* (Hymenoptera: Scelionidae) con relación al cogollero del maíz. **Bioagro**, Barquisimeto, v. 12 p. 47-54, 2000.
- MUJICA, N.; WHU, M. Biological control in Peru. IN: VAN LENTEREN, J.C.; BUENO, V.H.P.; LUNA, M.G.; COLMENAREZ, Y.C. **Biological control in Latin America and the Caribbean: its rich history and bright future**. Wallingford: CABI, 2020. chap. 25 p. 369-89.
- NAGOSHI, R.N. Can the amount of corn acreage predict fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) infestation levels in nearby cotton? **Journal of Economicac Entomology**, Lanham, v. 102 p. 210-218, 2009.
- NASA POWER. POWER Project Data Sets. Disponível em: <<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>>.
- NAVARRO, M.A. **Trichogramma spp. producción, uso y manejo em Colombia**. Guadalajara de Buga: Impretec, 1998. 176p.
- NAVIK, O.; SHYLESHA, A.N.; PATIL, J.; VENKATESAN, T.; LALITHA, Y.; ASHIKA, T.R. Damage, distribution and natural enemies of invasive fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. smith) under rainfed maize in Karnataka, India. **Crop Protection**, Guildford v. 143, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105536>>
- OGUNFUNMILAYO, A.O.; KAZEEM, S.A.; IDOKO, J.E.; ADEBAYO, R.A.; FAYEMI, E.Y.; ADEDI-BU, O.B.; OLOYEDE, Q.O.; NWOGWUGWU, J.O.; AKINBODE, O.A.; SALIHU, S.; OFFORD, L.C.; BUDDIE, A.G.; OFUYA, T.I. Occurrence of Natural Enemies of Fall Army Worm or *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Nigeria. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 16 n. 7, p. 1-13, 2021.
- OLIVEIRA, L.L.G.S.; SILVA, G.C.D.B.; SILVA, M.A. Zoneamento agroecológico de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) parasitando *Helicoverpa armigera* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) no Brasil. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, Corrente, v. 9, n. 1, p. 131-144, 2021.

- PAK, G. A. Selection of *Trichogramma* for inundative biological control. Wageningen, 1988. 224 p. (Doctor - Landbouwniversiteit te Wageningen).
- PAK, G.A.; VAN HEININGEN, T.G.; VAN ALEBEEK, F.A.N.; HASSAN, S.A.; VAN LENTEREN, J.C. Experimental inundative releases of different strains of the egg parasite *Trichogramma* in Brussels sprouts. **Netherlands Journal of Plant Pathology**, Leiden, v. 95: p. 129–142, 1989.
- PAREDES-SÁNCHEZ, F.A.; RIVERA, G.; BOCANEGRA-GARCÍA, V.; MARTÍNEZ-PADRÓN, H.Y.; BERRONES-MORALES, M.; NIÑO-GARCÍA, N.; HERRERA-MAYORGA, V. Advances in control strategies against *Spodoptera frugiperda*: A Review. **Molecules**, Basel, v. 26, n. 18, p. 1-19, 2021.
- PARRA, J. R. P. A biologia de insetos e o manejo de pragas: da criação em laboratório à aplicação em campo, p. 1-29. In.: J. C. GUEDES, I. D. COSTA & E. CASTIGLIONI. **Bases e técnicas do manejo de insetos**. Santa Maria, UFSM, 248p. 2000.
- PARRA, J.R.P. Biologia comparada de *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) visando ao seu zoneamento ecológico no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Entomologia**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 45-76, 1985.
- PARRA, J.R.P. **Técnicas de criação de insetos para programas de controle biológico**. 3.ed. Piracicaba, FEALQ, 2001. 134 p.
- PARRA, J.R.P.; BENTO, J.M.S.; GARCIA, M.S.; YAMAMOTO, P.T.; VILELA, E.F.; LEAL, W.S. Development of a control alternative for the citrus fruit borer, *Ecdyolopha aurantiana* (Lepidoptera: Tortricidae) from basic research to the grower. **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v.48, n.4, p.561-567, 2004.
- PARRA, J.R.P.; BOTELHO, P.S. M; CORRÊA-FERREIRA, B.S.; BENTO, J.M.S. (Eds.) **Controle biológico no Brasil: parasitoides e predadores**. São Paulo. Manole, p. 1-16. 2002.
- PARRA, J.R.P.; COELHO JUNIOR, A.; CUERVO-RUGNO, J.B.; GARCIA, A.G.; MORAL, R.A.; SPECHT, A., DOURADO NETO, D. Important pest species of the *Spodoptera* complex: Biology, thermal requirements and ecological zoning. **Journal of Pest Science**, Heidelberg, v. 95, p. 169-186, 2021.

- PARRA, J.R.P.; MILANO, P.; CÔNSOLI, F.L.; ZÉRIO, N.G. Efeito da nutrição de adultos e da umidade na fecundidade de *Diatraea saccharalis* (Fabr.) (Lepidoptera:Crambridae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v.28, n.1, p.49-57, 1999.
- PARRA, J.R.P.; SALES JR., O. Biology of *Trichogramma galloi* Zucchi reared on natural and factitious hosts under different temperatures and relative humidities. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TRICHOGRAMMA AND OTHER EGG PARASITES, Cairo, 1994. Paris: INRA, 1994. P. 95-99. (Les Colloques de l'INRA, 73).
- PILKINGTON, L.J.; HODDLE, M.S. Use of life table statistics and degree-day values to predict the invasion success of *Gonatocerus ashmeadi* (Hymenoptera: Mymaridae), an egg parasitoid of *Homalodisca coagulate* (Hemiptera: Cicadellidae), in California. **Biological Control**, Orlando, v.37, n, 3, p. 276-283, 2006.
- 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). **Annals of the Entomology Society of America**, New York, v. 105, n. 1, p. 73-81, 2012.
- POMARI, A.F.; QUEIROZ, A.P.; BUENO, A.F.; SANZOVO, A.W.; DE BORTOLI, S.A. The importance of relative humidity for *Telenomus remus* (Hymenoptera: Platygasteridae) parasitism and development on *Corcyra cephalonica* (Lepidoptera: Pyralidae) and *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) eggs. **Annals of the Entomology Society of America**, New York, v. 108 p. 11–7, 2014.
- PRATISSOLI D.; PEREIRA, F.F.; BARROS, R.; PARRA, J.R.P.; PEREIRA, C.L.T. Parasitismo de *Trichogramma pretiosum* em ovos da traça-das-crucíferas sob diferentes temperaturas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 4, p.754-757, 2004.
- PRATISSOLI, D.; PARRA, J.R.P. Desenvolvimento e exigências térmicas de *Trichogramma pretiosum* Riley, criados em duas traças do tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 1281-1288, 2000.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS Geographic Information System. Open-Source Geospatial Foundation Project. 2022. Disponível em: <<https://www.qgis.org/en/site/>>

- QUEIROZ, A.P.; FAVETTI, B.M.; LUSKI, P.G.G.; GONÇALVES, J.; NEVES, P.M.O.J.; BUENO, A.F. *Telenomus remus* (Hymenoptera: Platygastridae) parasitism on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) eggs: different parasitoid and host egg ages. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 40, n. 6, p. 2933-2946, 2019.
- DIEZ-RODRÍGUEZ, G. I.; C. OMOTO. Herança da resistência de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a lambda-cialotrina. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 30, n. 2, p. 311–316, 2001.
- REIGADA, C.; DE ANDRADE MORAL, R.; DEMÉTRIO, C.G.B.; PARRA, J.R.P. Cross-crop effects on larval growth, survivorship and fecundity of *Helicoverpa armigera*. **Journal of Pest Science**, Heidelberg, v. 91, p. 121–131, 2018.
- ROMO, C.M.; TYLIANAKIS, J.M. Elevated temperature and drought interact to reduce parasitoid effectiveness in suppressing hosts. **PLoS One**, San Francisco, v. 8, e58136, 2013.
- SALAZAR-MENDOZA, P.; RODRIGUEZ-SAONA, C.; FERNANDES, O.A. Release density, dispersal capacity, and optimal rearing conditions for *Telenomus remus*, an egg parasitoid of *Spodoptera frugiperda*, in maize. **Biocontrol Science and Technology**, Oxford, p. 1-20, 2020.
- SANKARAN, T. Natural enemies introduced in recent years for biological control of agricultural pests in India. **Indian Journal Agricultural Science**, New Delhi, v. 44, n. 7, p. 425-433. 1974.
- SHARANABASAPPA; KALLESHWARASWAMY, C.M.; ASOKAN, R.; SWAMY, H.M.; MARUTHI, M.S.; PAVITHRA, H.B.; HEGDE, K.; NAVI, S.; PRABHU, S. T.; GOERGEN, G. First report of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), an alien invasive pest on maize in India. **Pest Management in Horticultural Ecosystems**, Bangaluru, v. 24, p. 23-29, 2018.
- SILVEIRA NETO, S.; NAKANO, O.; BARBIN, D. et al. **Manual de ecologia dos insetos**. São Paulo: Ceres, 1976. 419p. SOUTHWOOD, T.R.E. **Ecological methods with particular reference to the study of insect population**, 2.ed. London: Chapman & Hall, 1978. 524p.
- SPARKS, A.N. A review of the biology of the fall armyworm. **Florida Entomologist**, Gainesville, v. 72, n. 2, p. 82-87, 1979.
- STORER, N.P.; BABCOCK, J.M.; SCHLENZ, M.; MEADE, T.; THOMPSON, G.D.; BING, J.W.; HUCKABA, R.M. Discovery and characterization of field resistance to

- Bt maize: *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Puerto Rico. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 103 v. 1031-1038, 2010.
- SUN, X.X.; HU, C. X.; JIA, H.R.; WU, Q.L.; SHEN, X.J.; ZHAO, S.Y.; JIANG, Y.Y.; WU, K.M. Case study on the first immigration of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* invading into China. **Journal Integrative Agriculture**, Beijing, v. 20, p. 664–672, 2021.
- TOLK, J.A.; HOWELL, T.A.; STEINER, J.L.; KRIEG, D.R. Role of transpiration suppression by evaporation of intercepted water in improving irrigation efficiency. **Irrigation Science**. Berlin, v. 16, p. 89-95, 1995.
- VANOYE-ELIGIO, V., LOZANO, L.B., CASTANEDA, R.P., GARCÍA, G.G., VILLALON, M.L. Regional-scale spatio-temporal analysis of *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae) populations in the citrus region of Santa Engracia, Tamaulipas, Mexico. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 108, n. 4, p. 1655-1664, 2015.
- VAN WELZEN, C.R.L.; WAAGE, J.K. Adaptative responses to local mate competition by the parasitoid, *Telenomus remus*. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, New York, v. 21, p. 359-365, 1987.
- VARELLA, A.C., MENEZES-NETTO, A.C.; ALONSO, J.D.D.D.; CAIXETA, D.F.; PETERSON, R.K.; FERNANDES, O.A. Mortality dynamics of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) immatures in maize. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 10 n. 6 p. 1-12, 2015.
- VÁSQUEZ, C.; FERRER, F.; COLMENAREZ, Y.C.; MORALES, S.J. Biological control in Venezuela. In: VAN LENTEREN J.C.; BUENO, V.H.P.; LUNA, M.G.; COLMENAREZ, Y.C. **Biological control in Latin America and the Caribbean: its rich history and bright future**. Wallingford: CABI; 2020. chap. 31 p. 457-72.
- WEATHER SPARK. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/>>

- WENGRAT, A.P.G.S.; COELHO JUNIOR, A.; PARRA, J.R.P.; TAKAHASHI, T.A.; FOERSTER, L.A.; CORRÊA, A.S., POLASZEK, A.; JOHNSON, N.F.; COSTA, V.A.; ZUCCHI, R.A. Integrative taxonomy and phylogeography of *Telenomus remus* (Scelionidae), with the first record of natural parasitism of *Spodoptera* spp. in Brazil. **Scientific Reports**, London, v.11, n.14110, p.1-9, 2021.
- WILMER, P.G. Microclimate and the environmental physiology of insects. **Advances in Insect Physiology**, London, v.16, p. 1-57, 1982.
- WILSON, L.T.; BARNETT, W.W. Degree-days: an aid in crop and pest management. **California Agriculture**, California, v. 37, n. 1, p. 4-7, 1983.
- YANG, X.L.; LIU, Y.C.; LUO, M.Z.; LI, Y.; WANG, W.H.; WAN, F.; JIANG, H. *Spodoptera frugiperda* was first discovered in Jiangcheng County of Yunnan Province in southwestern China. **Yunnan Agriculture**, v. 01, p. 72, 2019.