

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ASPECTOS BIOLÓGICOS E CAPACIDADE DE VOO DE  
ADULTOS DE *Chrysodeixis includens* E *Spodoptera  
frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) EM DIFERENTES  
HOSPEDEIROS FORNECEM UMA BASE PARA O USO DE  
AMENDOIM COMO REFÚGIO EM SOJA Bt**

**Thaynara Arantes Soares Junqueira  
Engenheira Agrônoma**

**2023**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ASPECTOS BIOLÓGICOS E CAPACIDADE DE VOO DE  
ADULTOS DE *Chrysodeixis includens* E *Spodoptera  
frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) EM DIFERENTES  
HOSPEDEIROS FORNECEM UMA BASE PARA O USO DE  
AMENDOIM COMO REFÚGIO EM SOJA Bt**

**Discente: Thaynara Arantes Soares Junqueira  
Orientador: Prof. Dr. Odair Aparecido Fernandes**

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

**2023**

J95a	<p>Junqueira, Thaynara Arantes Soares</p> <p>Aspectos biológicos e capacidade de voo de adultos de <i>Chrysodeixis includens</i> e <i>Spodoptera frugiperda</i> (Lepidoptera: Noctuidae) em diferentes hospedeiros fornecem uma base para o uso de amendoim como refúgio em soja Bt / Thaynara Arantes Soares Junqueira. -- Jaboticabal, 2023</p> <p>43 f.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal</p> <p>Orientador: Odair Aparecido Fernandes</p> <p>1. Entomologia. 2. Manejo da Resistência de Insetos a plantas Bt. 3. Áreas de Refúgio. 4. <i>Spodoptera frugiperda</i>. 5. <i>Chrysodeixis includens</i>. I. Título.</p>
------	--

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

Essa ficha não pode ser modificada.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

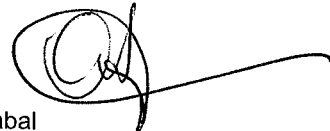
**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:** ASPECTOS BIOLÓGICOS E CAPACIDADE DE VOO DE ADULTOS DE *Chrysodeixis includens* E *Sopdoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) EM DIFERENTES HOSPEDEIROS FORNECEM UMA BASE PARA O USO DE AMENDOIM COMO REFÚGIO EM SOJA BT

**AUTORA: THAYNARA ARANTES SOARES JUNQUEIRA**

**ORIENTADOR: ODAIR APARECIDO FERNANDES**

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

Prof. Dr. ODAIR APARECIDO FERNANDES (Participação Virtual)  
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV UNESP Jaboticabal

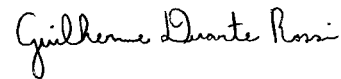


Pesquisadora Dra. SIMONE MARTINS MENDES (Participação Virtual)  
Embrapa Milho/Sorgo / Sete Lagoas/MG

**gov.br**

Documento assinado digitalmente  
SIMONE MARTINS MENDES  
Data: 25/05/2023 10:39:52-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. GUILHERME DUARTE ROSSI (Participação Virtual)  
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV UNESP Jaboticabal



Jaboticabal, 22 de maio de 2023

## **DADOS CURRICULARES DA AUTORA**

THAYNARA ARANTES SOARES JUNQUEIRA – Nascida em 16 de maio de 1996, em Pratápolis, Estado de Minas Gerais, filha Maria de Fátima Arantes Soares Junqueira e Wilson Junqueira. Ingressou no curso de Engenharia Agrônômica, na Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) – Câmpus de Passos, em 2015. Durante a graduação, desenvolveu atividades de pesquisa na área de Ciência dos Solos, sendo bolsista de Iniciação Científica do Programa Institucional de Apoio à Pesquisa (PAPq), no período de 2017 a 2018, sob a orientação da Prof. Dra. Franciane Diniz Cogo. Graduou-se em 2019, obtendo o título de Engenheira Agrônoma. Em agosto de 2020, iniciou o curso de Mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Entomologia Agrícola, da Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – (FCAV/Unesp), Câmpus de Jaboticabal. Foi bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), no Laboratório de Ecologia Aplicada, sob orientação do Prof. Dr. Odair Aparecido Fernandes.

*“Depois de escalar uma grande montanha, você descobrirá que há várias outras montanhas para serem escaladas”.*

**Nelson Mandela**

Aos meus avós que são sinônimo de cuidado, amor e carinho.

**OFEREÇO**

Aos meus pais, por toda dedicação, incentivo e esforço que sempre fizeram para que eu alcançasse meus objetivos.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me escolhido para escrever essa história, pela saúde que me proporciona e por me manter firme durante a caminhada.

À minha família e ao meu namorado pelo amparo, momentos felizes e pelo incentivo. Ao meu orientador, Prof. Dr. Odair Aparecido Fernandes, pela confiança na minha capacidade, oportunidade para a realização deste trabalho, paciência e ensinamentos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Entomologia Agrícola da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela oportunidade e concessão da bolsa de estudo que possibilitaram a realização desta pesquisa.

Aos docentes do programa de Pós-graduação em Agronomia (Entomologia Agrícola) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, pelos ensinamentos transmitidos para minha formação.

Aos membros do Laboratório de Ecologia Aplicada (ApEcoLab) da FCAV/UNESP: André Maurício Múscari, Beliza Queiroz Vieira Machado, Gabriela Franchini, Gabriel Fernandes Rezende, João Marcelo Venturin Filho, João Rafael Silva Soares, Luís Augusto Gervásio Junqueira, Marina Guimarães Brum de Castro, Sabrina Juvenal de Oliveira e Vinícius Cesarin, pelo convívio, palavra amiga, companheirismo e auxílios prestados durante os experimentos deste trabalho.

As amigas Mariele de Santi, Nicole de Paula Souza e Sabrina Juvenal de Oliveira, ao incentivo, apoio e por serem minha família em Jaboticabal.

À amiga Rafaela Machado Alvarenga, mesmo distante fisicamente, sempre se fez presente.

Aos funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão - Fepe, pelo auxílio na implantação de experimentos em campo.

À Corteva pela disponibilização de indivíduos de *Chrysodeixis includens*.

A todos aqueles que contribuíram para o sucesso deste trabalho, direta ou indiretamente.

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

Muito obrigada.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Importância e aspectos gerais de <i>C. includens</i> e <i>S. frugiperda</i> .....	3
2.2 Manejo de Resistência de Insetos a plantas Bt.....	5
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3.1 Insetos e Plantas.....	9
3.2 Desenvolvimento de imaturos.....	10
3.3 Avaliação de parâmetros reprodutivos e longevidade de adultos.....	11
3.4 Capacidade de voo.....	12
3.5 Análise estatística.....	14
4. RESULTADOS.....	16
4.1 Desenvolvimento de imaturos.....	16
4.2 Parâmetros reprodutivos e longevidade de adultos.....	19
4.3 Capacidade de voo.....	24
5. DISCUSSÃO.....	26
6. CONCLUSÕES.....	33
7. REFERÊNCIAS.....	34

**ASPECTOS BIOLÓGICOS E CAPACIDADE DE VOO DE ADULTOS DE  
*Chrysodeixis includens* E *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) EM  
DIFERENTES HOSPEDEIROS FORNECEM UMA BASE PARA O USO DE  
AMENDOIM COMO REFÚGIO EM SOJA Bt**

**RESUMO** - A utilização de plantas geneticamente modificada contendo genes Bt (*Bacillus thuringiensis*) é uma ferramenta amplamente utilizada no manejo de insetos-praga, porém sua eficiência é ameaçada pela pressão de seleção de indivíduos resistentes à ação de proteínas inseticidas, decorrente da utilização dos mesmos agentes ou táticas de controle. Para tanto, áreas de refúgio são recomendadas com finalidade de retardar o desenvolvimento de populações de insetos resistentes à tecnologia Bt. Nesse contexto, para a melhor compreensão da viabilidade de cultivos alternativos em áreas de refúgio, é fundamental o estudo do desenvolvimento dos insetos nessas culturas, inclusive para se confirmar que haverá sincronia na emergência de adultos e garantir o acasalamento de insetos suscetíveis e resistentes. Desse modo, o presente trabalho teve por objetivo estudar os aspectos biológicos e o potencial biótico de *Chrysodeixis includens* e *Spodoptera frugiperda* em plantas de amendoim e soja. Larvas dessas espécies foram alimentadas com folhas desses cultivos. A duração da fase larval e pupal, consumo foliar, massa das pupas, curva de sobrevivência de adultos, período de pré-oviposição e de oviposição, fecundidade, número de posturas/inseto, viabilidade dos ovos, parâmetros da tabela de vida de fertilidade e capacidade de voo dos insetos foram determinados. O desenvolvimento das espécies estudadas e os parâmetros apresentados na tabela de vida de fertilidade demonstraram algumas diferenças significativas entre os hospedeiros avaliados, mas as duas espécies de plantas estudadas são capazes de permitir o desenvolvimento dos insetos-praga. Portanto, os resultados desse estudo apontam viabilidade e sincronicidade do ciclo biológico dos insetos e que as plantas de amendoim atendem os requisitos desejáveis do manejo de resistência, possibilitando a introdução dessas plantas em áreas de refúgio em sistemas de cultivos de soja Bt.

**Palavras-chave:** MIP; MRI; hospedeiros alternativos; lagartas desfolhadoras; insetos-praga, área de refúgio.

**BIOLOGICAL ASPECTS AND FLIGHT CAPACITY OF *Chrysodeixis includens* AND *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) ADULTS IN DIFFERENT HOSTS PROVIDE A BASIS FOR THE USE OF PEANUTS AS REFUGE IN Bt SOYBEAN**

**ABSTRACT** - The use of genetically modified plants containing Bt genes (*Bacillus thuringiensis*) is a widely used tool in insect pest management, but its efficiency is threatened by the selection pressure of resistant organisms to insecticidal proteins, resulting from the use of the same agents or tactics of control. Therefore, refuge areas are recommended for the purpose of delaying the development of Bt-resistant insects. To enable the viability of alternative crops in areas of refuge, it is necessary to study the development of insects in these crops, including the confirmation that emergence of adults will be synchronized to ensure mating of susceptible and resistant insects. Thus, the present work aimed to study the biological aspects and the biotic potential of *Chrysodeixis includens* and *Spodoptera frugiperda* in peanut and soybean plants. The larvae of these species were fed on leaves of these crops. The duration of the larval and pupal phase, foliar consumption, mass of pupae, adult survival curve, pre-oviposition and oviposition period, fecundity, number of eggs/insects, egg viability, fertility life table parameters and insect flight ability were determined. The development of the studied species and the parameters presented in the fertility life table showed some significant differences between the evaluated hosts, but the two plant species studied can allow the development of the insect pests. Therefore, the results of this study indicate viability and synchronicity of the biological cycle of insects and that peanut plants meet the desirable requirements of resistance management, enabling the introduction of these plants in refuge areas in Bt soybean cropping systems.

**Key words:** IPM; IRM; alternative hosts; defoliating caterpillars; insect pests; refuge area.

## 1. INTRODUÇÃO

O ataque por insetos-praga em culturas de importância econômica tem a capacidade de limitar a produtividade, pois a dinâmica populacional desses insetos é afetada com a intensificação agrícola (Andow, 1983; Oerke, 2006; Landis, 2017). *Chrysodeixis includens* (Walker, 1858) (Lepidoptera: Noctuidae) e *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) são lepidópteros importantes nesse cenário e se destacam no complexo de lagartas desfolhadoras (Cruz, 1995; Botelho et al., 2019; Luz et al., 2019). As fases larvais dessas espécies possuem alto potencial de dano, pois consomem órgãos reprodutivos e vegetativos de plantas, além do alto nível de polifagia que permite a esses insetos se alimentarem de plantas cultivadas e hospedeiros alternativos, como vegetação nativa e ervas daninhas (Moscardi et al., 2012; Specht et al., 2015; Luz et al., 2019).

Uma forma efetiva de controle desses insetos-praga é a utilização de plantas geneticamente modificadas (GM) que expressam proteínas inseticidas provenientes da bactéria *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bt) que podem suprimir populações de organismos-alvo em toda área (Hutchison et al., 2010; Dively et al., 2018). Tais proteínas inseticidas quando ingeridas por organismos-alvo causam rompimento do intestino médio, promovendo alterações fisiológicas que ocasiona a morte do inseto (Coping e Menn, 2000). Duas das principais vantagens do cultivo dessas plantas são o aumento da eficácia do controle efetivo de pragas-alvo e redução acentuada do uso de inseticidas (Bernardi et al., 2016; Brookes e Barfoot, 2018).

A tecnologia de plantas Bt é uma ferramenta amplamente utilizada, passando a configurar em mais uma estratégia de controle de insetos dentro do contexto do Manejo Integrado de Pragas (MIP) para os cultivos de milho, algodão, soja e cana-de-açúcar. Porém, sua eficiência é ameaçada pela pressão de seleção de indivíduos resistentes à ação dessas proteínas, decorrente da utilização dos mesmos agentes ou táticas de controle (Andow, 2008; Bernardi et al., 2016; Siegfried e Jurat-Fuentes, 2016). Os insetos resistentes à ação das proteínas Bt completam seu ciclo de vida nessas plantas gerando descendentes que podem possuir essas mesmas características genéticas de resistência. No relato de evolução de resistência a inseticidas e a tecnologia Bt, as espécies *C. includens* e *S. frugiperda* são indicadas como umas das espécies que apresentam maior risco de desenvolvimento da

resistência (Bernardi et al., 2016). Ao considerar os aspectos genéticos e bioecológicos dos insetos, como potencial biótico e gerações contínuas durante o ano, aliados à baixa adoção de áreas de refúgio, esse cenário se agrava consideravelmente (Sosa-Gómez e Omoto, 2012; Farias et al., 2014; Faretto et al., 2017).

Para retardar a pressão de seleção de populações de insetos resistentes às plantas Bt é recomendada a utilização de áreas de refúgio em conjunto com outras estratégias de Manejo de Resistência a Insetos (MRI), como por exemplo a adoção de plantas de alta dose de proteína inseticida e pirâmide de genes. As áreas de refúgio devem ser cultivadas com plantas convencionais que não expressam proteínas Bt. Essas áreas se destinam à manutenção de populações de insetos suscetíveis (SS), que posteriormente irão se acasalar com insetos resistentes (RR), resultando em heterozigotos que são controlados pela tecnologia. Desse modo, há retardamento no surgimento de novas populações de insetos resistentes (Mendes et al., 2011; Tabashnik e Carrière, 2017).

Para assegurar a longevidade de plantas Bt é fundamental estudos que contribuem com os programas de Manejo de Resistência a Inseticidas (MRI). Todavia, ainda há questionamento sobre a possibilidade de utilização de cultivos alternativos em áreas de refúgio, considerando as limitações que esses cultivos podem ocasionar em práticas agrícolas, na biologia e comportamento de insetos-alvo (Gould, 1998; Head e Greenplate, 2012). Com isso, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o desenvolvimento e capacidade de voo de *C. includens* e *S. frugiperda* em soja e amendoim para a compreensão do papel de plantas de amendoim como proposta de cultivo alternativo em soja Bt.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Importância e aspectos gerais de *C. includens* e *S. frugiperda*

A lagarta falsa-medideira, *Chrysodeixis includens* (Walker, 1858) (Lepidoptera: Noctuidae) e a lagarta-do-cartucho do milho, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) são insetos polívoros que causam consideráveis perdas econômicas em diversas culturas (Herzog, 1980; Cruz, 1995; Specht et al., 2015; Montezano et al., 2018). A distribuição de *C. includens* ocorre restritamente ao continente americano, desde o sul da América do Sul até o norte dos Estados Unidos. No entanto, países dos continentes africano, asiático e oceânico também tem aptidão climática, sendo locais adequados para o desenvolvimento e estabelecimento de *C. includens* após uma possível introdução, se tornando uma ameaça em potencial à segurança alimentar de outros países (Herzog, 1980; Alford e Hamond Junior, 1982; Sosa-Gómez et al., 2010; Soares et al., 2021). *Spodoptera frugiperda* é proveniente de regiões tropicais e subtropicais do continente Americano, onde sua ocorrência é endêmica, mas se encontra amplamente distribuída nos continentes africano, asiático e oceânico (Cruz, 1995; Goergen et al., 2016, Cock et al., 2017; Sun et al., 2021). No território brasileiro, essas espécies são encontradas de maneira generalizada devido às condições climáticas favoráveis e a disponibilidade de alimentos durante todo ano que as tornam altamente adaptável a ambientes agrícolas e não agrícolas, tendo a possibilidade de se tornarem potenciais pragas (Cruz, 1995; Moscardi et al., 2012; Specht et al., 2015).

Os lepidópteros são holometábolos, ou seja, sofrem metamorfose completa, passando por quatro estágios distintos (ovo, larva, pupa e adulto) durante a vida. A fase larval das espécies em questão é composta por seis ínstars, após os quais ocorre a formação da pupa, da qual, por sua vez, emergem os adultos (Herzog, 1980; Cruz, 1995). A duração do ciclo de vida é variada conforme o alimento e condições abióticas. Geralmente, dentro de um limite, o ciclo de vida será menor quanto maior for a temperatura (Mitchell, 1967; Cruz e Monteiro, 2004; Murúa e Virla, 2004). O processo de reprodução de ambas as espécies, que abrange o acasalamento e a oviposição, ocorre durante o período noturno com duração entre seis a oito horas (Sparks, 1979; Cruz, 1995; Miranda-Anaya et al., 2002).

Cada fêmea de *C. includens* tem alta capacidade de oviposição, podendo chegar a 1.300 ovos (Specht et al., 2019). As fêmeas ovipositam de maneira isolada, geralmente na parte abaxial das folhas; os ovos são globulares e de coloração creme-claro a amarelo brilhante logo após a postura, tornando-se marrom-claro, próximo à eclosão das larvas (Mascarenhas e Pitre 1997; Moscardi et al., 2012). A fase imatura dessa espécie apresenta coloração verde-clara, com listras brancas longitudinais e pontuações pretas sobre o dorso. Neste período possuem três pares de pernas torácicas, dois pares de pernas abdominais e um par anal, o que as faz locomover-se como se estivessem medindo palmos, originando o nome popular dessa espécie de lagarta falsa medideira. Nos instares finais, as larvas podem chegar a medir até 4,5 cm de comprimento. O início da fase de pré-pupa é marcado pela interrupção da alimentação e liberação de um último “pellet” fecal com coloração amarelo-brilhante (Hoffmann-Campo et al., 2000; Botelho et al., 2019). As pupas geralmente são encontradas sob uma teia na face abaxial das folhas, possuem coloração verde-clara brilhante, escurecendo aproximadamente 48h antes da emergência do adulto. Na fase adulta de *C. includens*, as asas anteriores são de coloração marrom-acinzentada com duas manchas prateadas brilhantes no centro de cada asa e as asas posteriores são branca-acinzentadas. As asas são dispostas de forma inclinada e possuem aproximadamente 3,5 cm de envergadura (Sosa-Gómez et al., 2010; Botelho et al., 2019).

Fêmeas de *S. frugiperda* ovipositam preferencialmente na parte adaxial das folhas, podendo depositar centenas de ovos em uma única postura. A capacidade de oviposição de cada fêmea pode chegar a 2.000 ovos. Os ovos são depositados em massas, normalmente são acinzentados e escurecem próximo à eclosão das larvas. As larvas dessa espécie apresentam coloração marrom, com três linhas longitudinais dorsais branco-amareladas e pináculos bem nítidas (Valicente, 2015). Nos instares finais, as larvas podem chegar a medir até 5 cm de comprimento. Nesse período, penetram no solo para se transformarem em pupas. Logo após a formação, a coloração das pupas pode variar de verde-clara a alaranjada, passando a marrom-avermelhado dentro de algumas horas e gradativamente escurecendo até a emergência das mariposas. Adultos de *S. frugiperda* apresentam dimorfismo sexual, sendo que asas anteriores de coloração cinza são mais escuras nas fêmeas quando

comparadas com as dos machos. As asas posteriores são branco-acinzentadas. Os adultos possuem asas dispostas de forma inclinada com aproximadamente 3,5 cm de envergadura (Cruz, 1995; Valicente, 2015).

Em razão do elevado potencial reprodutivo, polifagia e dispersão, esses lepidópteros possuem importante atuação no complexo de lagartas desfolhadoras (Cruz, 1995; Bueno et al., 2011; Santos et al., 2017). As fases larvais possuem alto potencial de dano, pois consomem órgãos reprodutivos e vegetativos de plantas, reduzindo a produtividade das culturas. Nos ínstaes iniciais as larvas apenas raspam o parênquima foliar de folhas novas, as quais apresentam baixa quantidade de fibras. Porém, após o terceiro ínstar, as larvas passam a perfurar a lâmina foliar e a incidir em estruturas reprodutivas da planta (Herzog, 1980; Cruz, 1995; Hoffmann-Campo et al., 2000). O dano causado em plantas infestadas por *C. includens* se diferencia daquele observado em plantas infestadas por outros noctuídeos, uma vez que larvas de *C. includens* não se alimentam de nervuras centrais e laterais de folhas, deixando as com aspectos rendilhados (Baldin et al., 2014).

Dependendo da permanência da fase imatura desses insetos nas culturas, o estágio fenológico das plantas e a quantidade do percentual de folhas consumidas pelas lagartas, pode ocorrer considerável redução de área foliar, comprometendo a produtividade das culturas (Moscardi et al., 2012). Por conta disso, medidas de controle desses insetos enfocando o manejo integrado de pragas são imprescindíveis (Botelho et al., 2018).

## **2.2 Manejo de Resistência de Insetos a plantas Bt**

O Manejo Integrado de Pragas (MIP) é um conjunto de técnicas que visa parâmetros ecológicos, econômicos, técnicos e sociológicos para manter populações de insetos em níveis que não ocasionam danos econômicos as culturas (Picanço, 2010). A utilização de plantas geneticamente modificadas que expressam proteínas inseticidas de *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bt) para manejo de insetos-praga se enquadra como uma importante ferramenta de controle de pragas dentro do contexto do MIP. A Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) permitiu o cultivo destas plantas no Brasil, no ano de 2007, e foram impulsionadas em razão da possibilidade do controle efetivo de organismos-alvo, especificidade, segurança e

redução de aplicações de inseticidas. Mais de 93% da área cultivada ocupada com plantas de soja, milho e algodão são com cultivares que expressam proteínas Bt (Sharma e Ortiz, 2002; Bobrowski et al., 2003; Nicolía et al., 2013; Bernardi et al., 2016; Céleres, 2019; ISAAA, 2020).

A bactéria entomopatogênica *B. thuringiensis* é prontamente encontrada no solo, vegetais, água, poeiras e insetos. Durante o estágio de esporulação na fase de crescimento reprodutivo, *B. thuringiensis* têm capacidade de sintetizar e armazenar dentro de um cristal parasporal uma ou mais proteínas inseticidas cristalinas (Cry) e citolíticas (Cyt). Outros tipos de proteínas inseticidas, como Vegetative Insecticidal Protein (VIP), são produzidos e secretados durante o estágio vegetativo. Essas proteínas são eficazes no controle de fases juvenis de algumas espécies de insetos das ordens Lepidoptera, Diptera e Coleoptera (Gould, 1998; Carneiro et al., 2009; Raymond et al., 2010; Bravo et al., 2011; Argôlo-Filho e Loguercio, 2014; Glare et al., 2017).

A introdução de genes derivados de *B. thuringiensis* nos genomas de plantas, permite a expressão das proteínas nos tecidos dos vegetais, no entanto, afetam apenas os insetos que se alimentam dessas plantas (de Maagd et al., 1999; Siegel, 2001). O modo de ação das proteínas Cry quando são ingeridas por um inseto suscetível é a produção de toxinas que formam poros nas células epiteliais que revestem o intestino médio, causando lise celular e promovendo o extravasamento do conteúdo do intestino médio. Em consequência, isso promove alterações fisiológicas e ocasiona a morte do inseto hospedeiro. A morte do inseto também pode ocorrer por inanição, uma vez que a alimentação cessa pouco tempo após a ingestão da toxina (Coping e Menn, 2000).

Todavia, alguns insetos, por exemplo, *S. frugiperda*, desenvolveram mecanismos de resistência múltiplos e cruzados às diversas moléculas inseticidas e plantas Bt, em função ao uso extensivo destes produtos para controle de pragas-alvo (Wan et al., 2021). A resistência é a capacidade de pragas-alvo sobreviver a doses de uma molécula inseticida que teoricamente seriam letais para a maioria de uma população de inseto suscetíveis da mesma espécie e passam essa característica para sua prole. O desenvolvimento de resistência é ocasionado por diversos fatores, como manejo das culturas, fatores abióticos, bioecologia e característica genética do inseto

(Andow, 2008; Bernardi et al., 2016, Martinelli et al., 2017). Tal situação ocorre como resposta à forte pressão de seleção imposta pela exposição da tecnologia Bt às populações de campo, como resultado, insetos resistentes às plantas transgênicas ameaça a utilização de plantas Bt no MIP (Storer et al., 2003; Bernardi et al., 2016).

O primeiro relato de resistência no Brasil à tecnologia Bt foi com indivíduos de *S. frugiperda* a proteína Cry1F em menos de quatro anos após a liberação do cultivo de plantas transgênicas de milho Herculex® (Farias et al., 2014). Com o intuito de retardar o desenvolvimento da resistência no campo de inseto-pragas e prolongar a vida útil da tecnologia Bt, é imprescindível aderir às estratégias de Manejo de Resistência de Insetos (MRI). Entre as estratégias sugeridas estão a expressão de toxinas em alta dose, expressão de múltiplas toxinas Bt em uma mesma planta, adoção de áreas de refúgio, rotação de culturas, plantas armadilhas, mistura de sementes e monitoramento. Essas estratégias podem ser utilizadas combinadas entre si ou individualmente (Leite et al., 2011; Bernardi et al., 2014).

As áreas de refúgio é a principal estratégia adotada de MRI e a mais difundida, se caracterizando por uma porcentagem significativa da área sem a presença de plantas que expressam proteínas Bt, plantas hospedeiras selvagens ou outra cultura hospedeira de artrópodes-alvo, ou seja, é uma área que os insetos não estão expostos à pressão de seleção. O intuito dessa estratégia é promover a sobrevivência, reprodução e o fornecimento de insetos suscetíveis (homozigotos SS), provenientes de áreas de refúgio (plantas não-Bt), para que por meio do acasalamento com indivíduos resistentes (heterozigotos RR) sobreviventes aos cultivos de plantas Bt, gerem descendentes heterozigotos suscetíveis (RS) a proteína Bt (Gould, 1998; Andow, 2008; Tabashnik et al., 2008; Bernardi et al., 2016).

Plantas de alta dose aliadas a áreas de refúgio é uma estratégia eficaz para retardar o desenvolvimento da resistência e requer uma área de plantas não-Bt próxima a áreas de plantas que expressam concentração da(s) proteína(s) inseticida(s) igual ou acima de 25 vezes a concentração letal que seria necessária à mortalidade de 99,9% de uma população de insetos suscetíveis, visando a mortalidade de insetos suscetíveis (SS) e resistentes (RR) que carregam alelo tipo RS oriundos do cruzamento de homozigotos (SS) e (RR). A mortalidade de insetos heterozigotos (RS) é de suma importância no MRI de plantas Bt, pois são os insetos

carreadores de alelos de resistência enquanto a frequência de alelos de resistência é baixa (Gould, 1998; Tabashnik et al., 2009; Gryspeirt e Grégoire, 2012).

Ressalta-se que as áreas de refúgio devem ser cultivadas com plantas convencionais de ciclo vegetativo semelhante ao das plantas Bt, sendo que o tamanho adequado da área de refúgio varia de 5 a 20% da área total cultivada, de acordo com o evento transgênico utilizado. Porém, a distância das áreas de refúgio para as áreas cultivadas com plantas Bt devem ser menores que 800 metros devido a esta ser a capacidade máxima de dispersão de mariposas de *S. frugiperda* em campo (Leite et al., 2011; Vilarinho, 2011; Bernardi et al., 2016; Fatoretto et al., 2017). Essas recomendações têm em vista a sincronicidade do acasalamento de possíveis indivíduos resistentes provenientes de cultivos Bt com indivíduos suscetíveis provenientes da área de refúgio (Leite et al., 2011).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Insetos e Plantas

Os experimentos foram conduzidos no Departamento de Ciências da Produção Agrícola, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, FCAV/UNESP, campus de Jaboticabal, São Paulo, Brasil (21°14'58.96" S e 48°17'8.18" O). Foram avaliadas duas espécies de insetos (*C. includens* e *S. frugiperda*) e duas fontes alimentares (soja e amendoim).

Inicialmente foram estabelecidas as criações dos insetos. Para tanto, larvas e pupas de *C. includens*, provenientes de criação em larga escala mantidas no laboratório da Corteva Agrisciences, Toledo, PR, sem introdução de indivíduos selvagens, desde 2015, foram utilizadas para obtenção de adultos. No caso de *S. frugiperda*, massas de ovos foram coletadas em área de cultivo de milho no município de Jaboticabal, SP, para obtenção de larvas. Esta criação foi mantida até a obtenção de F1. Ambas as criações foram estabelecidas em dieta artificial à base de feijão (Vilela et al., 2014), em salas com condições ambientais controladas ( $25 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ,  $50 \pm 10\%$  e fotoperíodo de 12 h). Foram utilizadas bandejas com água nas salas para manter a umidade relativa do ar.

Para a condução dos experimentos, plantas convencionais de amendoim (IAC503 - Instituto Agrônômico) e soja (BRS 544RR - Embrapa Soja) foram cultivadas em condição de campo em Latossolo Vermelho eutrófico de textura média (Santos et al., 2006), sem a aplicação de inseticida. O controle de plantas daninhas foi realizado por meio da aplicação dos herbicidas pós-emergente glifosato (Roundup®) no cultivo de soja, imazapique (Plateau®) no cultivo de amendoim e trifluralina (Trifluralina Nortox®) em ambas as culturas, seguindo as recomendações da bula. O controle de doenças fúngicas foi realizado a cada 15 dias aplicações de clorotalonil (Bravonil 500®) e um fungicida à base de oxicloreto de cobre (Difere®), seguindo as recomendações da bula. Para manter a umidade adequada no solo foi realizada irrigação por gotejamento e por aspersão a cada dois dias.

Durante o experimento, os insetos foram alimentados durante a fase larval ou com folhas de amendoim ou de soja. As folhas foram retiradas de plantas de soja quando estavam em estágio vegetativo entre V4 e V5, 40 dias após a emergência (DAE) e de plantas de amendoim quando estavam no estágio vegetativo em período

de ramificação, também 40 DAE. As folhas retiradas foram do terço superior das plantas, pois folhas novas possuem baixo teor de fibra e são altamente digeríveis pelas lagartas (Kogan e Cope, 1974).

### 3.2 Desenvolvimento de imaturos

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em fatorial 2x2, sendo adotados 360 insetos (repetições) para cada planta hospedeira (tratamento). Uma vez que todo o experimento foi dividido em duas réplicas, para permitir que houvesse repetição no tempo.

Para comparar o desenvolvimento do período larval, consumo foliar e a sobrevivência do período larval de *C. includens* e *S. frugiperda*, neonatas foram individualizadas e mantidas em placas de Petri (60mm de diâmetro x 15mm altura), com um disco de papel filtro na base, contendo um chumaço de algodão hidrófilo saturado com água destilada, a fim de manter a umidade do ambiente. As folhas oferecidas aos insetos foram lavadas em hipoclorito de sódio a 10% e água corrente logo após a retirada e secas com papel toalha em temperatura ambiente antes de serem fornecidas aos insetos. Após a secagem as folhas de soja foram cortadas em discos com o auxílio de um de perfurador utilizado para recortar placas de Etileno Acetato de Vinila (EVA) de 50mm de diâmetro. Já os folíolos de amendoim antes da oferta aos insetos e o material vegetal não consumido tanto de amendoim quanto de soja foram fotografados por meio de câmera de telefone celular sobre papel milimetrado a uma distância padrão de 30 cm. As imagens registradas foram utilizadas para mensuração da área foliar utilizando o programa ImageJ (Schneider et al., 2012). A alimentação foi repostada a cada três dias ou sempre que havia consumo superior a 70% da área foliar, para permitir alimentação *ad libitum*, até completar a fase larval. Também foi realizada a remoção de excrementos e higienização da placa de Petri durante o período larval.

O período larval foi considerado somente para os insetos que sobreviveram até a fase pupal. A avaliação de mortalidade das larvas foi realizada a cada dois ou três dias até a fase de pupa com o auxílio de um leve toque nas larvas por meio de um pincel de cerdas macias. A movimentação foi indicativa de que os insetos estavam vivos.

Durante o período pupal, foram avaliados os valores de massa, em até 24h de idade e o período de duração (dias), sendo considerado o tempo desde a formação da pupa até a emergência do adulto. Para obter os valores de massa, as pupas foram pesadas individualmente em balança de precisão (Marte®, Florham Park, EUA) e avaliadas quanto à presença de malformações. No momento da pesagem, houve a separação das pupas pela fonte alimentar fornecida durante a fase larval, por idade para obter a emergência dos adultos simultaneamente e por sexo, realizada conforme Butt e Cantu (1962). Parte das pupas foram utilizadas na avaliação de oviposição e parte no estudo de capacidade de voo.

### **3.3 Avaliação de parâmetros reprodutivos e longevidade de adultos**

Para possibilitar a oviposição das mariposas, as pupas obtidas do teste acima foram separadas em casais, conforme a fonte alimentar fornecida durante a fase larval e idade da pupa e acondicionadas em copos plásticos translúcido (COPAZA®) de 700 ml, sendo alocadas uma fêmea e um macho em cada copo. Os copos foram revestidos internamente com folha sulfite tipo A4 na cor amarela para *C. includens* (Contini, 2020) e na cor branca para *S. frugiperda* (Castro et al., 2009), utilizada como substrato para oviposição. A parte superior foi coberta por tecido do tipo voile que foi mantido fixado por elástico para impedir a saída dos insetos.

A alimentação dos insetos na fase adulta se deu por meio de um recipiente cilíndrico de plástico (0,60 cm de altura x 2,10 de diâmetro) sob tecido do tipo voile, contendo um chumaço de algodão hidrofílico saturado de solução de 1l de água destilada, 1g metil parahidroxibenzoato (nipagina), 1g ácido ascórbico, mel diluído a 10%, e 350ml de cerveja tipo pielsen (Botelho et al., 2019). A alimentação da fase adulta foi trocada diariamente para evitar a contaminação por microrganismos. Os indivíduos foram mantidos nessas condições até a morte. Foram adotados 60 casais para cada tratamento (fonte alimentar oferecida na fase larval) para avaliação da curva de sobrevivência de machos e fêmeas, período de pré-oviposição e de oviposição, fecundidade, número de posturas/fêmea de *S. frugiperda*, viabilidade de ovos e estimar os parâmetros da tabela de vida de fertilidade.

A cada 24h, os substratos de oviposição foram trocados e os ovos obtidos coletados e quantificados para determinar a fecundidade total das fêmeas (total de

ovos/fêmea). Para a quantificação de ovos de *C. includens* foi realizada a contagem direta, uma vez que os ovos são depositados de forma isolada e sua coloração creme-clara dificulta a visualização em registros fotográficos. Já para a quantificação de ovos de *S. frugiperda* foi realizada a troca do substrato de oviposição e cada postura foi fotografada. As imagens foram avaliadas utilizando-se o software Microsoft Paint (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, EUA) e a contagem foi realizada de acordo com Leuck e Perkins (1972), em que as posturas que apresentaram a oviposição em camadas, os ovos da camada superior foram multiplicados pelo número de camadas observadas, somando com os ovos ao redor das camadas. Também foi anotado o número de posturas realizadas por cada fêmea de *S. frugiperda*.

Os ovos foram colocados em potes de plásticos de 100 ml fechados com tampa após a avaliação de número de ovos/fêmea, e após 48h da eclosão, as larvas foram contabilizadas, para determinação da viabilidade dos ovos.

O período de pré-oviposição correspondeu ao tempo transcorrido entre a emergência da fêmea até o dia em que iniciou a oviposição e o período de oviposição correspondeu do primeiro até o último dia de oviposição. A curva de sobrevivência dos adultos foi determinada do tempo transcorrido entre a emergência do inseto e a morte.

Após a obtenção dos dados biológicos e reprodutivos foram estimados os parâmetros para elaboração da tabela de vida de fertilidade, seguindo os métodos de Birch (1948), Silveira Neto et al., (1976), Southwood (1978) e Price (1984), em que  $x$  = ponto médio de cada idade das fêmeas, considerando desde após a eclosão;  $lx$  = expectativa de vida até a idade  $x$ ;  $mx$  = fertilidade específica;  $lx.mx$  = número total de fêmeas nascidas na idade  $x$ . Os parâmetros reprodutivos resultantes da tabela de vida consistiram em:  $R_0$  = taxa líquida de aumento populacional;  $T$  = tempo médio de geração;  $r_m$  = taxa intrínseca de aumento;  $\lambda$  = razão finita de aumento. Também foi determinado o TD, que é o tempo necessário para a população dobrar em número, seguindo a metodologia de Krebs (1994).

### 3.4 Capacidade de voo

Para o estudo de capacidade de dispersão foi adotado o sistema fatorial 2x2x2, sendo os parâmetros avaliados: status sexual (virgem e acasalado), sexo (fêmea e macho) e fonte alimentar utilizada durante a fase larval (soja e amendoim), entre 2 a 6 dias após a emergência. Para cada sexo e status sexual foram adotados 20 insetos, sendo cada inseto uma repetição.

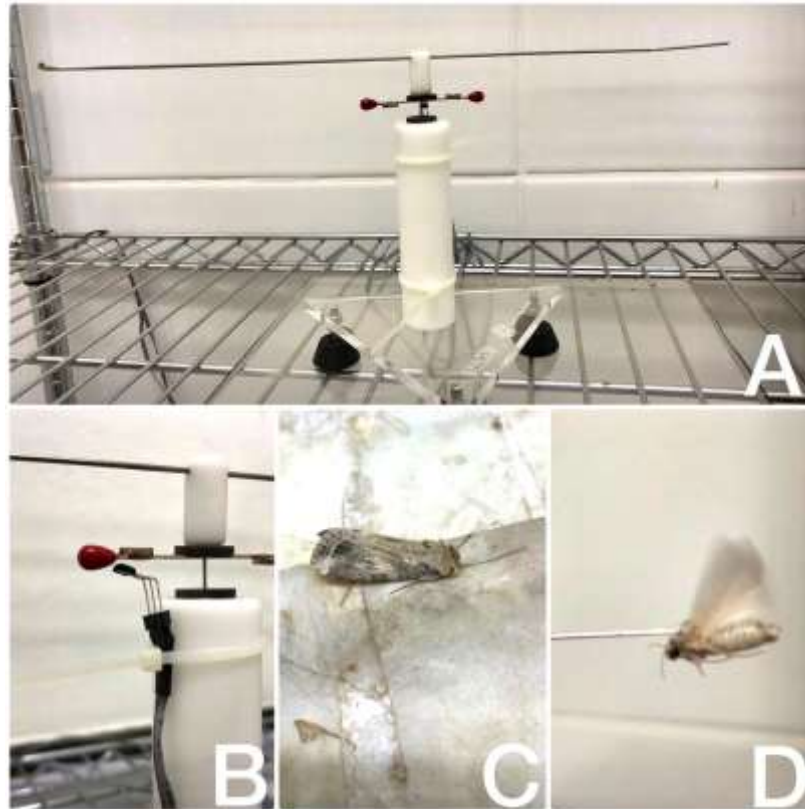
Portanto, parte das as pupas obtidas foram separadas em casais, conforme a fonte alimentar fornecida durante a fase larval, idade de pupa e acondicionadas em copos plásticos, sendo alocadas uma fêmea e um macho em cada copo plástico de 700 ml para permitir a cópula e parte foram mantidos individualmente em copos plásticos de 700 ml, gerando adultos virgens. A parte superior dos copos plásticos foi coberta por tecido do tipo voile que foi mantido fixado por elástico para impedir a saída dos insetos. A alimentação dos insetos na fase adulta, se deu conforme citado no item 3.3.

O potencial de dispersão de adultos foi avaliado utilizando aparelhos de avaliação de voo tutorado (AAVT), denominados “flight mills” (Naranjo, 2019). Para tanto, adultos de *S. frugiperda* e *C. includens* foram imobilizados por meio de leve sucção em pressão negativa exercida por uma mangueira ligada a uma máquina de vácuo à pressão de aproximadamente 130 mm Hg, sendo cada inseto manejado por menos de 60s. Depois de imobilizados, os insetos tinham as escamas do mesonoto retiradas com auxílio de um pincel de cerdas finas e fixados em uma agulha (Milward Darning nº8) com auxílio de uma gota de aproximadamente 3mm de diâmetro de cola instantânea a base de etilcianoacrilato (Tekbond® adesivo instantâneo nº2) e de cola termocola a base de silicone e resinas plásticas (Tilibra®).

Após a fixação dos insetos, as agulhas foram acopladas à extremidade da haste do eixo móvel do dispositivo, permitindo que o inseto voasse livre e horizontalmente (360°), movendo-se no sentido horário. A cada volta, impulso magnético é captado por um sensor ligado a um módulo e enviado para o computador (Figura 1). Com isso, velocidade ( $m s^{-1}$ ), tempo (s) e distância percorrida (m) total e por voo foram obtidos.

Como o acasalamento e oviposição de *S. frugiperda* e *C. includens* ocorrem preferencialmente no período noturno (Sparks, 1979), os ensaios foram realizados

durante a escotofase. A duração dos ensaios teve aproximadamente 14h, ocorrendo das 17h do dia anterior às 07h do dia seguinte, compreendendo uma hora antes e após o período noturno (Caixeta, 2014).



**Figura 1.** A: visão geral do aparelho de avaliação de voo tutorado; B: sensor e imã; C: indivíduo de *S. frugiperda* imobilizado por sucção em mangueira ligada a uma máquina de vácuo; D: *S. frugiperda* colado na haste fixadora.

### 3.5 Análise estatística

Os efeitos das plantas hospedeiras em cada espécie sobre a duração do período de desenvolvimento dos insetos imaturos, quantidade de área foliar consumida, massa das pupas, período pupal, fecundidade, período de pré-oviposição e de oviposição foram submetidos ao teste de normalidade do resíduo pelo teste de Kolmogorov e ao teste de homocedasticidade das variâncias dos tratamentos pelo teste de Bartlett. Posteriormente, realizou a análise de variância e as médias foram separadas por meio do teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), utilizando o PROC MIXED (SAS

Institute, Cary, NC, USA). Os dados de viabilidade de ovos foram analisados pela razão de eclosão (larvas eclodidas/quantidade de ovos).

Para estimar o estágio de adaptação de *C. includens* e *S. frugiperda* em plantas de soja e amendoim utilizou-se o Índice de Adaptação (IA), descrito por Pencoe e Martin (1982) adaptado por Boregas et al. (2013), como segue:

$$IA = \frac{\text{sobrevivência larval (\%)} * \text{biomassa de pupas (mg)}}{\text{período larval (dias)}}$$

Após o cálculo do Índice de Adaptação, realizou-se o cálculo do Índice Relativo de Adaptação (IRA), uma vez que o índice de adaptação dos insetos nas plantas hospedeiras variam conforme as condições ambientais. Para tanto, IRA representou o quociente entre o IA em soja e IA em amendoim, expresso em porcentagem.

A curva de sobrevivência dos insetos adultos foi comparada usando o teste de probabilidade de sobrevivência de Kaplan-Meier, e posteriormente o teste de Log-rank empregando o PROC LIFETEST (SAS Institute, Cary, NC, USA). Para a tabela de vida de fertilidade, comparações de média e intervalos de confiança, foi utilizado o método Jackknife, proposto por Maia et al., (2000).

Os dados de capacidade de voo, como tempo de voo, velocidade média de voo e distância percorrida para fêmeas e machos, virgens e acasalados, foram submetidos ao teste de homocedasticidade das variâncias pelo teste de Bartlett e submetidos a análise de modelos mistos, utilizando o PROC MIXED (SAS Institute, Cary, NC, USA).

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Desenvolvimento de imaturos

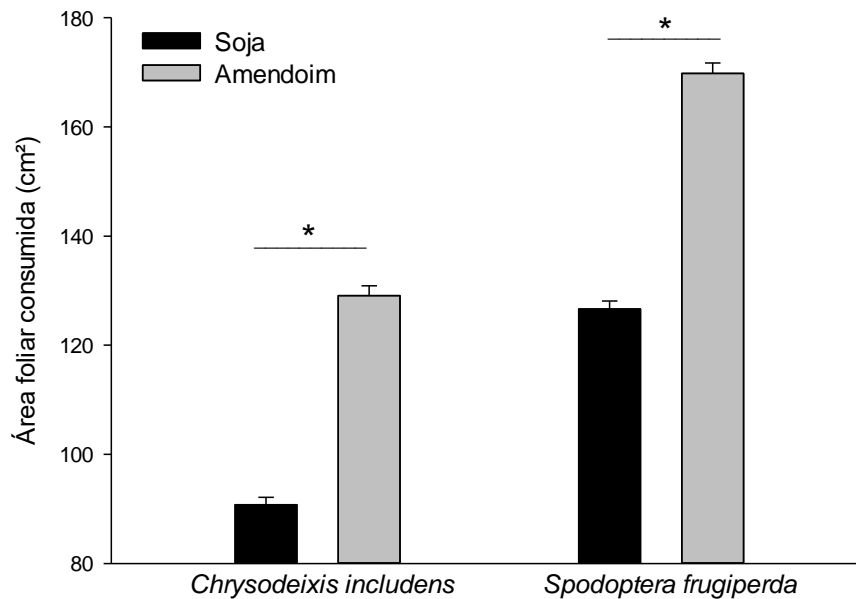
As larvas de *C. includens* mantidas em folhas de soja apresentaram período larval mais curto do que aquelas mantidas em folíolos de amendoim ( $F_{1,1062}=74,42$ ;  $P<0,0001$ ), sendo essa diferença menor que um dia (0,8 dia) para insetos mantidos em soja. Por outro lado, observou-se que com as larvas de *S. frugiperda* ocorreu o contrário, ou seja, o período larval dos insetos mantidos em soja apresentou maior duração média (1,5 dias a mais) do que os insetos mantidos em folíolos de amendoim ( $F_{1,1062}=21,41$ ;  $P<0,0001$ ). Comparando-se as espécies de lepidópteros, larvas de *C. includens* apresentaram período larval mais curto que larvas de *S. frugiperda*, a despeito do hospedeiro ( $F_{1,1062}=532,33$ ;  $P<0,0001$ ) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Duração ( $\pm$  EP) dos estágios imaturos (dias) de *Chrysodeixis includens* e *Spodoptera frugiperda* alimentados com folhas de hospedeiros alternativos (n representa o número de indivíduos observados).

Estágio Imaturo	<i>Chrysodeixis includens</i>				<i>Spodoptera frugiperda</i>			
	Soja		Amendoim		Soja		Amendoim	
	N	Média	N	Média	N	Média	N	Média
Larva	317	19,36 $\pm$ 0,10 b	265	20,16 $\pm$ 0,18 a	221	24,27 $\pm$ 0,22 a	264	22,81 $\pm$ 0,19 b
Pupa	252	8,16 $\pm$ 0,07 a	229	8,05 $\pm$ 0,07 a	135	10,47 $\pm$ 0,10 a	170	10,24 $\pm$ 0,08 a

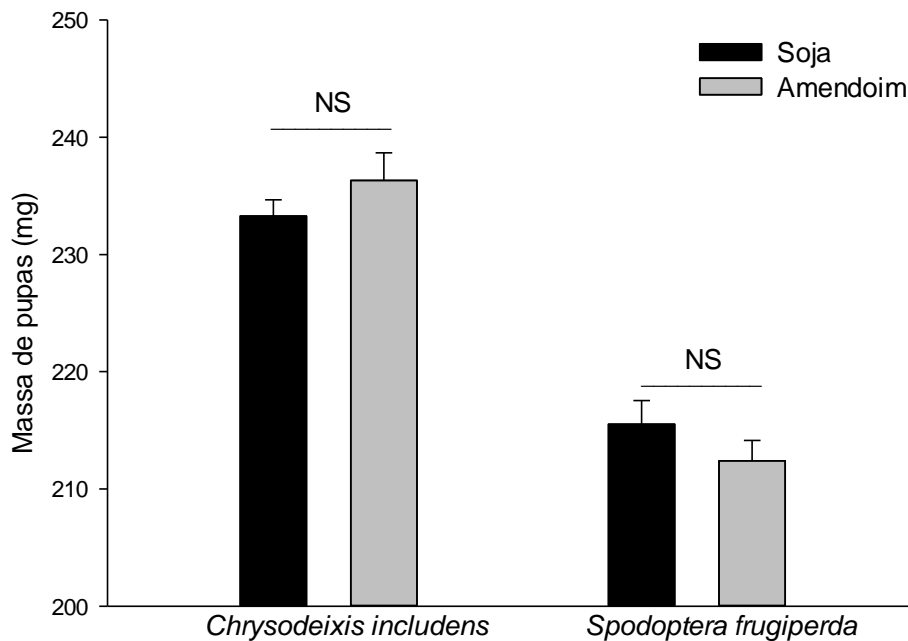
Os valores médios seguidos pela mesma letra minúscula em cada linha dentro de cada espécie de inseto não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $P>0,05$ ).

O consumo médio das larvas de *C. includens* e *S. frugiperda* mantidas em amendoim foi significativamente maior do que aquele observado em larvas mantidas em soja (*C. includens*:  $F_{1,1006}=245,54$ ;  $P<0,0001$ ; *S. frugiperda*:  $F_{1,1006}=276,34$ ;  $P<0,0001$ ). Na comparação do consumo foliar entre as espécies de insetos, verificou-se que a quantidade consumida por *C. includens* foi significativamente menor ( $F_{1,1006}=537,00$ ;  $P<0,0001$ ) que *S. frugiperda* para as plantas hospedeiras (Figura 2).



**Figura 2.** Consumo médio ( $\pm$  EP) de consumo de área foliar (cm<sup>2</sup>) de larvas de *Chrysodeixis includens* e *Spodoptera frugiperda* alimentadas com folhas de plantas hospedeiras. (\* indica diferença significativa pelo teste de Tukey,  $P \leq 0,05$ ).

As plantas hospedeiras fornecidas durante a fase larval não influenciaram a duração do período pupal (*C. includens*:  $F_{1,781}=1,21$ ;  $P=0,2711$ ; *S. frugiperda*:  $F_{1,781}=1,51$ ;  $P=0,2189$ ) e a massa das pupas (*C. includens*:  $F_{1,1054}=2,95$ ;  $P=0,0860$ ; *S. frugiperda*:  $F_{1,1054}=0,55$ ;  $P=0,4569$ ) para as duas espécies estudadas. Por outro lado, comparando-se as espécies de insetos, observou-se diferenças significativas nestes dois parâmetros, sendo que o período pupal de *C. includens* é mais curto ( $F_{1,781}=706,96$ ;  $P < 0,0001$ ) e suas pupas são mais pesadas ( $F_{1,1054}=156,18$ ;  $P < 0,0001$ ) do que os indivíduos de *S. frugiperda* (Tabela 1 - Figura 3).



**Figura 3.** Massa média ( $\pm$  EP) de pupas de *Chrysodeixis includens* e *Spodoptera frugiperda* originadas de larvas alimentadas com folhas de plantas hospedeiras. (<sup>ns</sup> indica não significativa pelo teste de Tukey,  $P > 0,05$ ).

A sobrevivência durante a fase larval de *C. includens* foi, em termos absolutos maior em indivíduos que se alimentaram de soja quando comparado com indivíduos que se alimentaram de amendoim. Por outro lado, observou-se que indivíduos de *S. frugiperda* mantidos em folíolos de amendoim apresentaram maior sobrevivência durante a fase larval do que aquelas mantidas em folhas de soja. Comparando-se as espécies de lepidópteros, larvas de *C. includens* apresentaram maior sobrevivência durante o período larval que indivíduos de *S. frugiperda*, independente da planta hospedeira (Tabela 2).

Os índices de adaptação (IA) e relativo de adaptação (IRA) de *C. includens* e *S. frugiperda* foram maiores quando imaturos de ambas as espécies foram mantidas em folhas de soja, porém com valores muito próximos entre si (Tabela 2).

**Tabela 2.** Sobrevivência larval, Índice de Adaptação (IA) e Índice Relativo de Adaptação (IRA) de *Chrysodeixis includens* e *Spodoptera frugiperda* cujas larvas foram alimentadas com folhas de hospedeiros alternativos.

Parâmetros	<i>Chrysodeixis includens</i>		<i>Spodoptera frugiperda</i>	
	Soja	Amendoim	Soja	Amendoim
Sobrevivência durante a fase larval (%)	91,84	87,65	83,86	85,29
IA	11,04	10,25	7,47	7,43
IRA (%)	107,66	92,89	100,58	99,42

#### 4.2 Parâmetros reprodutivos e longevidade de adultos

Os resultados obtidos de *C. includens* não apresentaram diferenças significativas no período de pré-oviposição ( $F_{1,190}=2,35$ ;  $P=0,1270$ ) e no período médio de oviposição ( $F_{1,194}=0,73$ ;  $P=0,3930$ ) para as duas plantas hospedeiras oferecidas durante a fase larval. Indivíduos de *S. frugiperda* também não apresentaram diferenças significativas no período de pré-oviposição ( $F_{1,190}=0,29$ ;  $P=0,5911$ ). No entanto, para esta espécie, o período médio de oviposição de insetos oriundos de larvas mantidas em soja foi menor quando comparado com insetos oriundos de larvas mantidas em amendoim, apresentando diferença significativa de 1,2 dias ( $F_{1,194}=6,25$ ;  $P=0,0133$ ). Na comparação entre espécies de insetos, *C. includens* tem o período de pré-oviposição significativamente menor que *S. frugiperda* ( $F_{1,190}=13,99$ ;  $P=0,0002$ ), mas o período de oviposição significativamente maior que *S. frugiperda* ( $F_{1,194}=13,23$ ;  $P=0,0004$ ), independente da planta hospedeira fornecida durante a fase larval (Tabela 3).

**Tabela 3.** Duração média ( $\pm$  EP) do período de pré-oviposição e duração de oviposição de adultos (dias) de *Chrysodeixis includens* e *Spodoptera frugiperda* cujas larvas foram alimentadas com folhas de hospedeiros alternativos (n representa o número de indivíduos observados).

Parâmetros no Estágio Adulto	<i>Chrysodeixis includens</i>				<i>Spodoptera frugiperda</i>			
	Soja		Amendoim		Soja		Amendoim	
	N	Média	N	Média	N	Média	N	Média
Pré-Oviposição	56	6,11 $\pm$ 0,33 a	49	5,51 $\pm$ 0,34 a	45	7,51 $\pm$ 0,45 a	45	7,24 $\pm$ 0,50 a
Oviposição	59	5,32 $\pm$ 0,23 a	50	5,00 $\pm$ 0,26 a	45	3,42 $\pm$ 0,34 b	45	4,67 $\pm$ 0,40 a

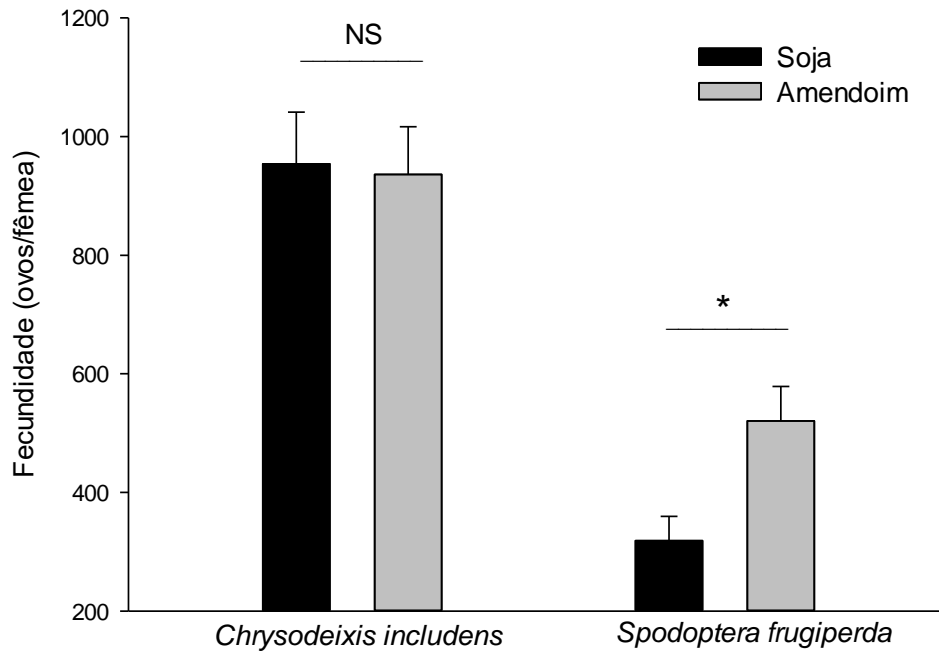
Os valores médios seguidos pela mesma letra minúscula em cada linha dentro de cada espécie de inseto não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $P>0,05$ ).

As fontes de alimentação oferecidas durante a fase larval de *C. includens* não afetaram sua fecundidade ( $F_{1,216}=0,03$ ;  $P=0,8661$ ), viabilidade de ovos ( $F_{1,160}=0,7276$ ;  $P=0,9854$ ) e a sobrevivência de adultos tanto de fêmeas quanto de machos. Por outro lado, a fecundidade de fêmeas de *S. frugiperda* foi significativamente maior ( $F_{1,216}=7,04$ ;  $P=0,0086$ ) em indivíduos cuja fase larval foi mantida em amendoim; mas não houve diferença significativa no número de posturas por fêmeas ( $F_{1,98}=1,90$ ;  $P=0,0603$ ) (Tabela 4), na viabilidade de ovos ( $F_{1,160}=0,1494$ ;  $P=0,4710$ ) e na sobrevivência de adultos tanto de fêmeas quanto de machos. Na comparação entre as espécies foi observado que a fecundidade de insetos de *C. includens* é maior que de insetos de *S. frugiperda* ( $F_{1,216}=58,13$ ;  $P<0,0001$ ; Figura 4), a viabilidade de ovos de *C. includens* mantidas em amendoim é maior que indivíduos mantidos em amendoim de *S. frugiperda* ( $F_{1,160}=2,85$ ;  $P=0,0255$ ; Figura 5), porém o tempo médio de sobrevivência de adultos de *S. frugiperda* é maior que o tempo médio de sobrevivência de adultos de *C. includens* ( $P<0,0001$ ; Figuras 6).

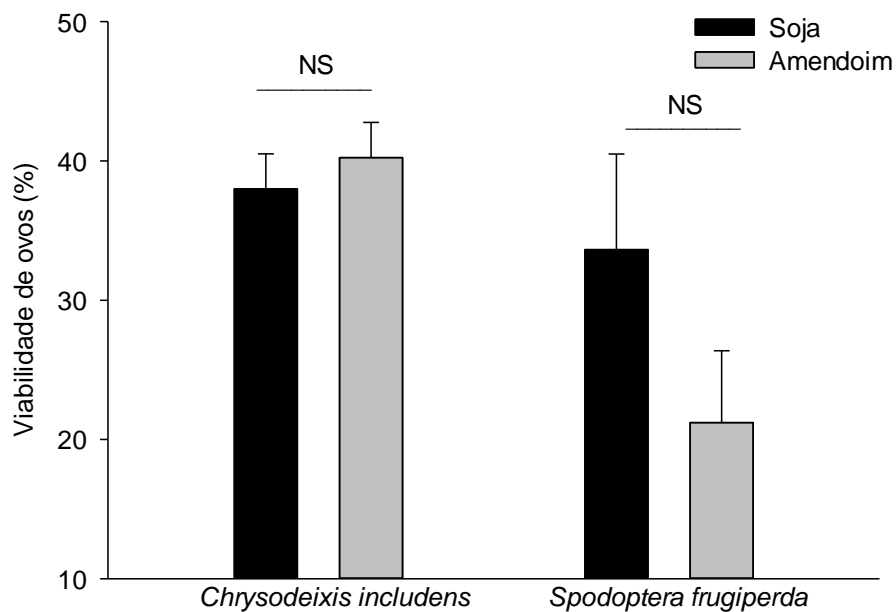
**Tabela 4.** Número médio ( $\pm$  EP) de massas de ovos de *Spodoptera frugiperda* cujas larvas foram alimentadas com folhas de plantas hospedeiras (n representa o número de indivíduos observados).

Parâmetro	<i>Spodoptera frugiperda</i>			
	Soja		Amendoim	
	N	Média	N	Média
Número de massas de ovos por fêmea	50	5,22 $\pm$ 0,62 a	51	7,20 $\pm$ 0,80 a

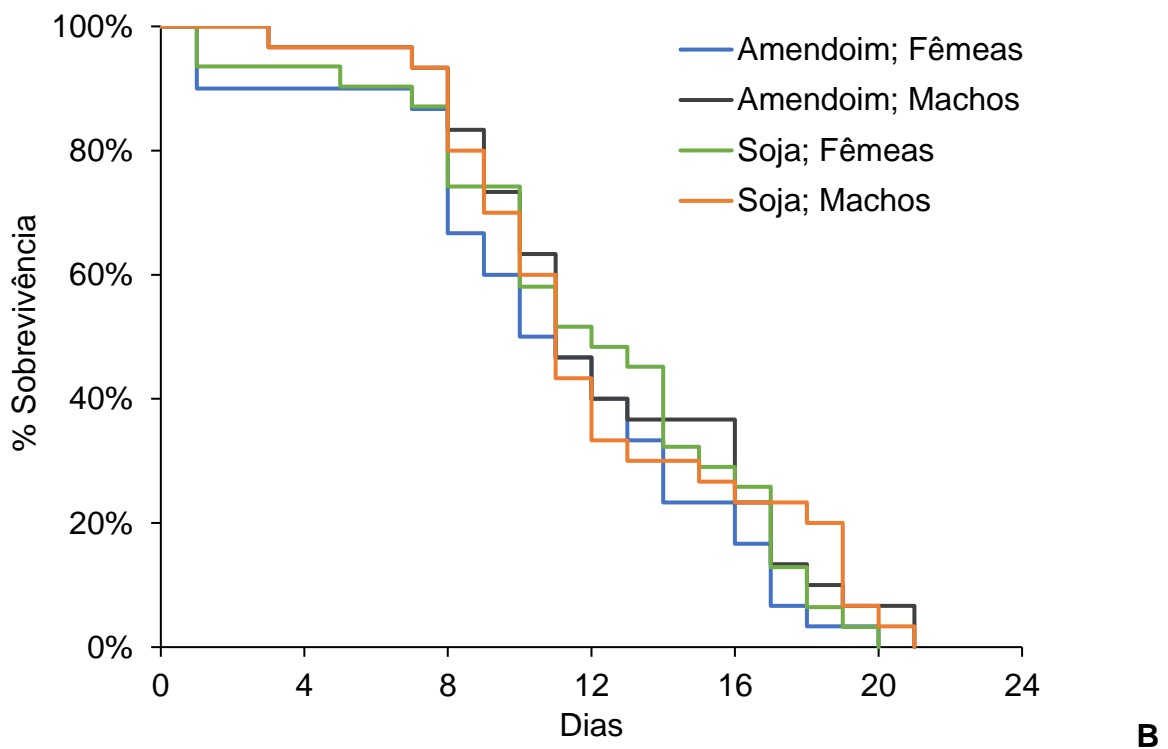
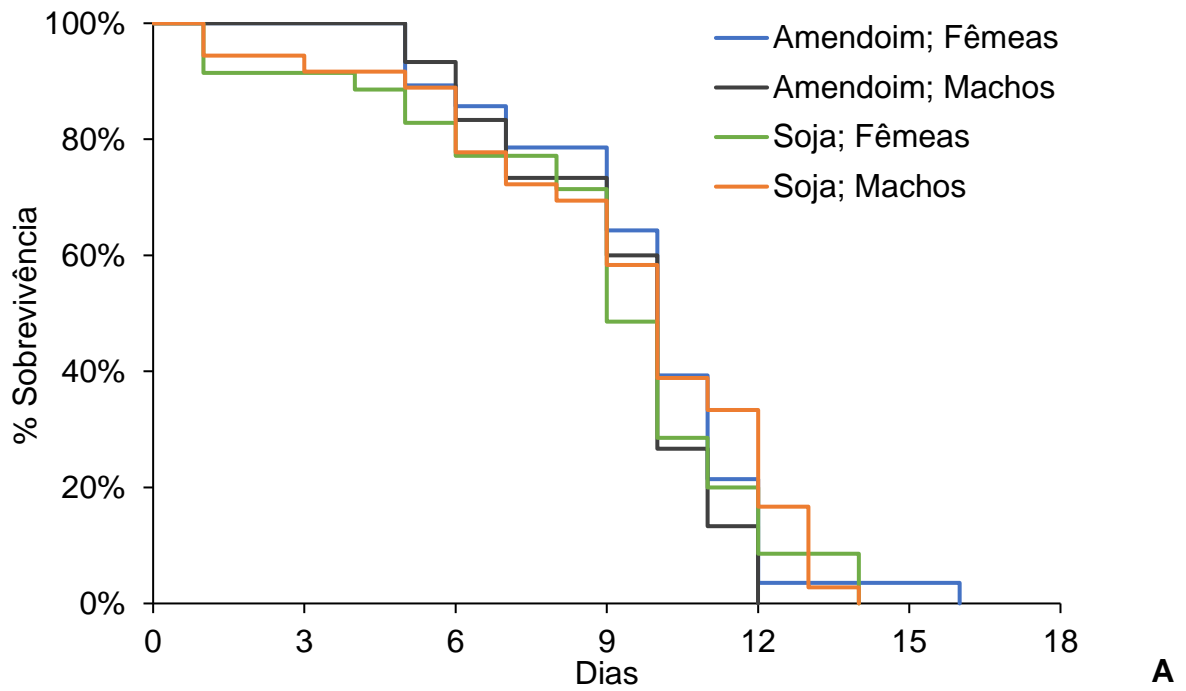
Os valores médios seguidos pela mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $P>0,05$ ).



**Figura 4.** Fecundidade média ( $\pm$  EP) de adultos de *Chrysodeixis includens* e *Spodoptera frugiperda* cujas larvas foram alimentadas com folhas de plantas hospedeiras (<sup>ns</sup> Não significativo; \* Significativo pelo teste de Tukey,  $P \leq 0,05$ ).



**Figura 5.** Viabilidade média ( $\pm$  EP) de ovos (%) de *Chrysodeixis includens* e *Spodoptera frugiperda* cujas larvas foram alimentadas com folhas de plantas hospedeiras (<sup>ns</sup> Não significativo pelo teste de Tukey,  $P > 0,05$ ).



**Figura 6.** Tempo médio de sobrevivência (Kaplan-Meier) de adultos de *Chrysodeixis includens* (A) e *Spodoptera frugiperda* (B) cujas larvas foram alimentadas com folhas de plantas hospedeiras.

A taxa líquida de aumento populacional em indivíduos de *C. includens* não apresentou diferença significativa. Entretanto, amendoim, como planta hospedeira, foi a mais adequada para o desenvolvimento de *S. frugiperda*, quando observada a taxa líquida de aumento populacional ( $R_0$ ) (Tabela 5). *Chrysodeixis includens* não apresentou diferenças na taxa intrínseca de crescimento populacional ( $r_m$ ) nos dois cultivos. Por outro lado, *S. frugiperda* apresentou maior taxa intrínseca de crescimento em insetos alimentados por amendoim durante o período larval quando comparado com indivíduos oriundos de larvas mantidas em soja (Tabela 5). Para a razão finita de aumento ( $\lambda$ ) não houve diferenças entre as plantas hospedeiras para *C. includens*. Porém, quando fornecido amendoim para larvas de *S. frugiperda* a razão de crescimento real foi maior, do que comparado as larvas mantidas em soja (Tabela 5). O tempo de geração (T) que indica o período entre cada geração foi menor em 1,3 dias para indivíduos de *C. includens* criados em soja. *Spodoptera frugiperda* não apresentou diferença para esse parâmetro (Tabela 5). No parâmetro tempo para a população duplicar em número ( $T_D$ ), a espécie *C. includens* apresentou diferenças significativas, sendo maior em amendoim. Por outro lado, o tempo para a população de *S. frugiperda* duplicar em número não apresentou diferença significativa (Tabela 5).

**Tabela 5.** Parâmetros de tabela de vida de fertilidade de *Chrysodeixis includens* e *Spodoptera frugiperda* originados de imaturos alimentados com folhas de plantas de hospedeiros alternativos.

Parâmetros	<i>Chrysodeixis includens</i>		<i>Spodoptera frugiperda</i>	
	Soja	Amendoim	Soja	Amendoim
$R_0$	924,88 a (795,75 - 1054,2)	924,53 a (783,95 - 1065,12)	227,05 b (158,20 - 295,90)	430,82 a (338,60 - 523,04)
$r_m$	0,24 a (0,23 - 0,25)	0,23 a (0,22 - 0,24)	0,16 b (0,15 - 0,17)	0,18 a (0,17 - 0,20)
$\lambda$	1,27 a (1,26 - 1,28)	1,26 a (1,25 - 1,27)	1,17 b (1,16 - 1,19)	1,20 a (1,19 - 1,22)
T	28,55 b (28,18 - 28,91)	29,84 a (29,29 - 30,38)	34,05 a (32,90 - 35,12)	32,86 a (31,34 - 34,35)
$T_D$	2,90 b (2,82 - 2,97)	3,02 a (2,94 - 3,12)	4,35 a (3,99 - 4,67)	3,75 a (3,51 - 3,98)

$R_0$ : taxa líquida de reprodução;  $r_m$ : taxa intrínseca de aumento;  $\lambda$ : razão finita de aumento; T: tempo médio de gerações;  $T_D$ : tempo de duplicação da população.

Os valores médios e o intervalo de confiança em cada linha seguidos por diferentes letras dentro de cada espécie de inseto, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

### 4.3 Capacidade de voo

Fêmeas virgens de *C. includens* cuja fase imatura foi mantida em amendoim voaram significativamente mais tempo e por maiores distâncias do que aquelas cuja fase larval foi mantida em soja, mas em relação a velocidade média não se verificou diferença. Já fêmeas acasaladas e machos virgens e acasalados não apresentaram diferenças significativas no tempo de voo, distância percorrida e velocidade média de voo. Por outro lado, fêmeas e machos virgens e acasalados, de *S. frugiperda* não apresentaram diferenças quanto ao tempo de voo, distância percorrida e velocidade média de voo independente da fonte alimentar fornecida durante a fase imatura (Tabela 6).

A quantidade de insetos avaliados no estudo de capacidade de voo diferiu entre as espécies de insetos. Isso ocorreu em virtude de contaminação por um patógeno não identificado em larvas de *C. includens*, reduzindo o número de indivíduos observados.

**Tabela 6.** Média ( $\pm$  EP) de aspectos do voo de fêmeas e machos, virgens e acasalados de *Chrysodeixis includens* e *S. frugiperda* originados de imaturos alimentados com folhas de plantas hospedeiras (n representa o número de indivíduos observados).

Variável	Sexo	Status sexual	<i>Chrysodeixis includens</i>				<i>Spodoptera frugiperda</i>			
			Soja		Amendoim		Soja		Amendoim	
			N	Média $\pm$ EP	N	Média $\pm$ EP	N	Média $\pm$ EP	N	Média $\pm$ EP
Tempo (s)	Fêmea	Virgem	27	1230,19 $\pm$ 385,39 b	4	12653,50 $\pm$ 7474,64 a	21	10596,71 $\pm$ 2816,28 a	12	10726,83 $\pm$ 5037,59 a
	Macho		14	2797,07 $\pm$ 1068,14 a	5	1107,80 $\pm$ 467,71 a	16	6465,19 $\pm$ 2116,14 a	15	6541,73 $\pm$ 2500,13 a
	Fêmea	Acasalado	-	-	1	879	14	8814,29 $\pm$ 3841,22 a	15	12509,27 $\pm$ 4059,77 a
	Macho		2	111,00 $\pm$ 45,00 a	2	162,50 $\pm$ 133,500 a	16	6692,69 $\pm$ 1636,25 a	14	5652,50 $\pm$ 2579,74 a
Distância (m)	Fêmea	Virgem	27	608,18 $\pm$ 173,25 b	4	6603,94 $\pm$ 3821,71 a	21	5970,92 $\pm$ 1748,96 a	12	7806,87 $\pm$ 3974,01 a
	Macho		14	2283,22 $\pm$ 1030,82 a	5	619,01 $\pm$ 292,14 a	16	5353,69 $\pm$ 3064,04 a	15	4087,91 $\pm$ 2113,01 a
	Fêmea	Acasalado	-	-	1	376,09	14	6126,52 $\pm$ 2748,31 a	15	10135,47 $\pm$ 3927,56 a
	Macho		2	6,60 $\pm$ 6,60 a	2	92,37 $\pm$ 87,65 a	16	4498,33 $\pm$ 1560,92 a	14	2460,54 $\pm$ 1123,38 a
Velocidade (m s <sup>-1</sup> ).	Fêmea	Virgem	27	0,59 $\pm$ 0,04 a	4	0,62 $\pm$ 0,07 a	21	0,58 $\pm$ 0,08 a	12	0,68 $\pm$ 0,09 a
	Macho		14	0,90 $\pm$ 0,18 a	5	0,67 $\pm$ 0,07 a	16	0,64 $\pm$ 0,09 a	15	0,68 $\pm$ 0,09 a
	Fêmea	Acasalado	-	-	1	0,55	14	0,61 $\pm$ 0,06 a	15	0,63 $\pm$ 0,06 a
	Macho		2	0,11 $\pm$ 0,10 a	2	0,46 $\pm$ 0,15 a	16	0,54 $\pm$ 0,08 a	14	0,55 $\pm$ 0,05 a

Os valores médios seguidos pela mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ).

## 5. DISCUSSÃO

Os ataques de *S. frugiperda* podem ser observados em plantas de soja recém-germinadas, quando seu ataque se assemelha ao ataque de *Agrotis ipsilon* (Hufnagel, 1766) (Lepidoptera: Noctuidae), porém os surtos populacionais ocorrem normalmente na fase reprodutiva, entre estádios reprodutivos R5 e R6, durante os quais ocorre a fase de enchimento de grãos (Guedes et al., 2011; Moscardi et al., 2012; Simon et al., 2021). Esses surtos ocorrem geralmente no mesmo período em que se observa o pico populacional de *C. includens* em soja, que também ocorre na fase reprodutiva (60-120 dias após o plantio). Este pico ocorre possivelmente devido a uma segunda geração de imaturos desenvolvidos nesses cultivos, uma vez que sua presença é observada a partir dos 45 dias após o plantio (Zulin et al., 2018; Silva, 2020). Já em cultivos de amendoim, *C. includens* e *S. frugiperda* estão entre os principais insetos-praga desfolhadores e o pico populacional de ambas as espécies ocorre durante a fase de desenvolvimento entre R6 e R7, sendo que insetos pertencentes ao gênero *Spodoptera* estão entre as espécies mais abundantes neste cultivo (Pinto e Fernandes, 2019).

Neste trabalho foi observada interferência das plantas hospedeiras em alguns parâmetros biológicos dentro e entre as espécies testadas. Insetos polípagos, como *C. includens* e *S. frugiperda*, têm seu habitat, crescimento populacional e ciclo biológico influenciados dependendo da planta hospedeira, quantidade e qualidade do alimento consumido durante seu período imaturo. Isso ocorre, pois, as espécies de plantas possuem conteúdo nutricional variado, diferença na palatabilidade e presença de metabólitos secundários que interferem na duração do ciclo de vida e na reprodução de lepidópteros. Essa variação pode ser observada entre e dentro de espécies de insetos (Parra, 1991, 2001; Awmack e Leather, 2002; Moreau et al., 2006; Shah, 2017).

Os indivíduos de *C. includens* e *S. frugiperda* completaram seus ciclos de vida (larva-pupa-adulto) e produziram adultos férteis, independente do hospedeiro utilizado pelas larvas (folhas de amendoim ou soja). Todavia, foi observada diferença de resposta na duração do período larval entre as espécies estudadas. É importante ressaltar que, quanto maior a duração do período larval do inseto, mais exposto ele está a fatores bióticos e abióticos que podem afetar sua sobrevivência (Boregas et al.,

2013). Ainda, o alongamento do período larval pode ser um indicador de alimento desfavorável para o desenvolvimento do inseto (Painter, 1951; Silva et al., 2017), o que pode explicar as diferenças encontradas neste estudo. Assim, considera-se como adequada ao inseto, uma planta hospedeira que tem a capacidade de conferir menor duração do estágio larval, pois além de se desenvolver mais rápido o inseto é capaz de apresentar maior número de gerações por ano (Parra, 1991; Boregas et al., 2013). A fase larval de *C. includens* foi menor em insetos alimentados com folhas de soja, o que já era esperado, pois essa espécie é conhecida como praga-chave da cultura da soja (Herzog, 1980; Moscardi et al., 2012; Specht et al., 2015). Em contrapartida, o desenvolvimento da fase larval de indivíduos de *S. frugiperda* alimentados com folhas de soja foi afetado negativamente. De certo modo, isto, também era esperado em razão da presença de compostos de defesa em suas folhas, como substâncias tóxicas de fitoalexina gliceolina, que influenciam negativamente no ciclo de desenvolvimento de algumas pragas, como *S. frugiperda*, atuando como inibidor nutricional (Fisher et al., 1990; Bueno et al., 2010; Peruca, 2015; Peruca et al., 2017).

A duração da fase larval de *S. frugiperda* independente da planta hospedeira, foi superior aos 12 dias observados quando as larvas dessa espécie são mantidas em plantas de milho (Sá et al., 2009). Esse resultado se deve sobretudo à composição e adequação nutricional das plantas estudadas em relação a plantas de outras famílias botânicas, uma vez que *S. frugiperda* é mais adaptada às plantas da família Poaceae (Pashley, 1986, 1988; Sá et al., 2009; Machado et al., 2014). Ainda que, a melhor adequabilidade e desempenho de *S. frugiperda* seja em gramíneas, neste estudo verificou-se potencial para sobrevivência e multiplicação em soja e amendoim, e acima de tudo, *S. frugiperda* é um herbívoro generalista e, pode se alimentar de outros hospedeiros e se desenvolver plenamente (Silva et al., 2017). Todavia, na década de 1980 não se observava danos frequentes de *S. frugiperda* em cultivos de soja, tanto que era considerada como praga secundária nesta cultura. Aliás, a soja, se demonstrava como um hospedeiro inadequado para o desenvolvimento desse inseto-praga resultando em uma taxa de mortalidade de larvas elevada. Porém, desde 2003, *S. frugiperda* vem se destacando como um inseto importante atacando plantas de soja e sua ocorrência tem aumentado ano a ano (Pitre e Hogg, 1983; Guedes et al., 2011; Moscardi et al., 2012), sendo fundamental adotar estratégias de manejo dessa praga.

Isso ocorreu em virtude do manejo das lavouras, pois, cultivos sucessivos resultam na disponibilidade de alimentos durante todo o ano e permitem adaptação dos mesmos, uma vez que insetos herbívoros desenvolvem adaptações bioquímicas e comportamentais para que possam superar mecanismos de defesas de plantas (Sá et al., 2009; Hoffmann-campo et al., 2012; Mithöfer e Boland, 2012; Erb e Reymond, 2019). Além disso, *S. frugiperda* na ausência do seu hospedeiro de preferência seleciona novas preferências alimentares em razão da elevada pressão populacional (Boregas et al., 2013). Portanto, este estudo demonstra a elevada adaptação de *S. frugiperda* às plantas de soja.

Os índices relativos de adaptação de *C. includens* e *S. frugiperda*, cujas larvas se desenvolveram em plantas de soja e amendoim, apresentaram valores próximos e em torno de 100%. Isso indica que os insetos estão no mesmo nível de adaptação. Portanto, esses resultados apontam que as plantas hospedeiras estudadas tem a mesma relevância na dinâmica populacional destes insetos, corroborando a proposta de refúgio alternativo deste trabalho. De acordo com Boregas et al. (2013), o índice relativo de adaptação pode ser também uma referência para o manejo da resistência de insetos às plantas Bt, pois trata-se de um parâmetro que permite estudar o estágio de adaptação dos insetos, podendo sugerir culturas alternativas para áreas de refúgio (Boregas et al., 2013).

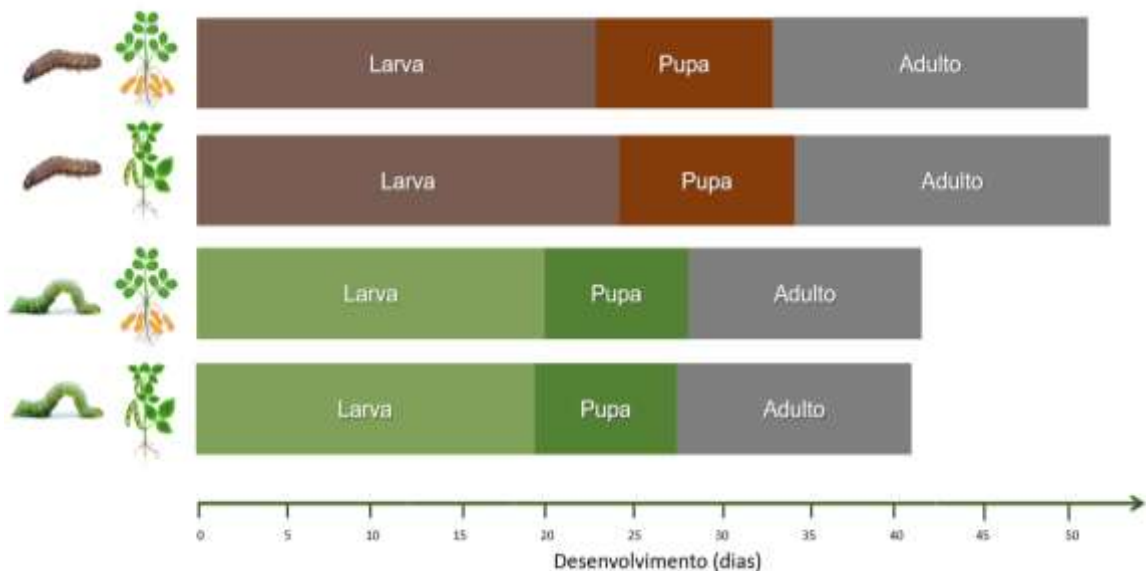
Indivíduos de *C. includens* e *S. frugiperda* não apresentaram diferenças na massa de pupas, embora o período larval e o consumo de área foliar tenha sido maior em uma das plantas hospedeiras. Essas respostas podem ser relacionadas a um desequilíbrio na relação de C/N das plantas hospedeiras e no balanço metabólico dos insetos durante a fase larval, uma vez que o acúmulo de nutrientes durante o desenvolvimento larval pode ser refletido em outras fases da vida e na massa do inseto (Wu e Li, 1993; Soto et al., 2018). Além do mais, a diferença na quantidade de alimento consumido pode ser devido ao gasto de energia do metabolismo para manutenção da vida do inseto (custo metabólico) e não à conversão em biomassa, sendo uma tentativa compensatória visto a dificuldade de aproveitamento do alimento e digestão (Oliveira et al., 1990). Portanto, as plantas de amendoim apresentaram maior custo metabólico quando comparada com plantas de soja para ambos insetos-praga. Características morfológicas de defesa das plantas, como tricomas ou

metabólitos secundários presentes em folhas de soja também podem explicar a menor quantidade de alimento consumido por *S. frugiperda* em soja (Levin, 1973; Mohamed et al., 2021)

Após a emergência, os insetos adultos de *C. includens* e *S. frugiperda* demandam apenas água para se reproduzirem, indicando que a nutrição dos insetos durante a fase larval é fundamental para o desenvolvimento reprodutivo, visto que a produção de ovos pelas fêmeas de lepidópteros conta com as reservas energéticas acumuladas durante esse estágio (Wheeler, 1996; Bavaresco et al., 2001; Awmack e Leather, 2002; Jervis et al., 2005; Milano et al., 2010). Dessa forma, os resultados do presente estudo com indivíduos de *C. includens* indicam que o alimento oferecido ao inseto influenciou apenas o desenvolvimento durante a fase larval, refletindo no tempo médio e de duplicação das gerações. Sendo assim, pode-se observar que *C. includens* se desenvolveu tão bem em amendoim quanto em soja; portanto, essa semelhança pode ser relacionada à elevada adequação deste inseto nessas plantas hospedeiras. Por outro lado, indivíduos adultos de *S. frugiperda* apresentaram diferenças significativas no período larval e de oviposição, bem como na fecundidade, com reflexo na taxa líquida de reprodução, taxa intrínseca de aumento e na razão finita de aumento, que são taxas indicativas do potencial biótico dos insetos. Mas, mesmo com diferença no período larval e na reprodução, ambos insetos-praga atenderam os requisitos biológicos para o desenvolvimento e reprodução da espécie. Esses resultados sugerem que há um custo metabólico para indivíduos de *S. frugiperda* quando se alimenta de plantas de soja, que pode estar ligado à inadequação nutricional do alimento, presença de compostos secundários produzido pelas plantas de soja que não são encontrados em folhas de amendoim e quantidade de alimento consumido.

Estudos com tabela de vida são essenciais para descrever o potencial de crescimento de espécies e, indicaram que tanto *C. includens* quanto *S. frugiperda* tem capacidade de aumentar sua população tanto em soja quanto em amendoim. Embora apresente diferença no ciclo do inseto no período de desenvolvimento larval, essa diferença não é biologicamente relevante, uma vez que o pico populacional de adultos suscetíveis da área de refúgio corresponde ao pico de densidade de possíveis adultos resistentes oriundos de plantas de soja Bt, pois a diferença na emergência de adultos

é menor do que um dia (0,69 dia) a mais para indivíduos de *C. includens* mantidos em amendoim e menor do que dois dias (1,69 dias) a mais para larvas de *S. frugiperda* mantidas em soja (Figura 8). Além do mais, sucessivas sobreposições de gerações também podem favorecer o acasalamento aleatório dos insetos, dado que o clima tropical do Brasil associado a disponibilidade de alimento durante todo o ano constituem um ambiente propício para aumentar a densidade populacional de insetos, sendo observadas várias gerações por ano (Fatoreto et al, 2017). Este resultado indica alta probabilidade de acasalamento entre os insetos suscetíveis e resistentes devido a sincronidade dos períodos de emergência de adultos de populações de áreas não-Bt e Bt. Visto que, em quase todas as espécies da ordem Lepidoptera é comum observar múltiplas cópulas (Sparks, 1979; Tregenza e Wedell, 2002).



**Figura 8.** Desenvolvimento de larva-pupa-adulto de *C. includens* e *Spodoptera frugiperda* em dias mantidos em folhas de soja e amendoim durante sua fase larval.

A movimentação dos lepidópteros em sua fase adulta ocorre por estímulos atrativos, como luminosidade, atrativo alimentar e feromônio (Sparks, 1979). No presente estudo a diferença encontrada capacidade de voo de adultos foi somente entre fêmeas virgens de *C. includens* em diferentes hospedeiros, não sendo possível assumir que esta diferença é importante devido ao baixo número de insetos observados. Em contrapartida, os resultados encontrados com indivíduos de *S. frugiperda*, independente do sexo e status sexual, sugerem que os insetos não interagem de maneira diferente durante o voo mesmo quando durante sua fase larval

tenham se alimentado de soja ou de amendoim. Fêmeas virgens de *S. frugiperda* liberam feromônios sexuais e aguardam a cópula para iniciar a movimentação, após a cópula observa-se um elevado deslocamento, com objetivo de buscar substratos adequados para realizar a oviposição e assegurar o desenvolvimento de sua prole (Sparks, 1979; Carroll et al., 2006). Por outro lado, os machos, independente do status de acasalamento são atraídos por feromônios sexuais liberados por fêmeas, sendo este o principal estímulo atrativo (Kromann et al., 2015). De acordo com os resultados, as fêmeas e machos de *S. frugiperda* tanto de larvas mantidas em soja quanto em amendoim podem voar a longas distâncias. Portanto, é possível inferir que o status sexual dos indivíduos não altera a capacidade de voo, possibilitando o cruzamento aleatório localmente e distante nos campos de origem, graças a chance de copular múltiplas vezes. Isso permite que mariposas fêmeas de áreas de refúgio ovipositem massas de ovos suscetíveis ou heterozigotos suscetíveis ao longo da paisagem que são controlados pela alta dose de plantas Bt e mariposas fêmeas resistentes ovipositem massas de ovos em plantas sem expressão de proteínas Bt, retardando a pressão de seleção. Entretanto, os insetos machos são fundamentais para promover insetos suscetíveis, por meio da diluição dos genes de resistência. A alta capacidade de voo de fêmeas bem como de machos valida a ida dos insetos suscetíveis provenientes de áreas de refúgio a área de plantas que expressam Bt e indica que poderá haver cópula e fluxo gênico entre as populações.

Em suma, os insetos estudados apresentam desempenho e sincronicidade do ciclo biológico e as plantas de amendoim atendem os requisitos desejáveis do manejo de resistência de insetos, em que áreas de refúgios devem conter plantas hospedeiras adequadas para o desenvolvimento dos insetos (Visser e Van den Berg, 2020), possibilitando a introdução dessas plantas em áreas de refúgio em sistemas de cultivos de soja Bt. No entanto, isso precisa de confirmação adicional por meio de testes em campo e há algumas ressalvas em relação a proposta de refúgio alternativo com amendoim.

Nossa proposta visa vencer as objeções dos agricultores e estimular a adoção de áreas de refúgio, entretanto o padrão do manejo de pragas em lavouras de amendoim precisa ser revisto, pois há sucessivas aplicações de produtos fitossanitários, utilizados como medida de controle de fitopatógenos e artrópodes-

praga, que é geralmente baseada em aplicações calendarizadas e simplificação de operações com maquinários em misturas em tanque. Diante disso, é recomendado o uso de estratégias do manejo integrado de pragas (MIP), para apontar o momento ideal para a tomada de decisão e qual tática de controle utilizar, evitando aplicações recorrentes com inseticidas, que poderiam comprometer ou até mesmo anular a função da cultura de amendoim como refúgio. Além disso, a adoção de áreas de refúgio com plantas de amendoim apresenta dificuldades visto ajustes na aplicação de tratamentos culturais e há complexidade operacional de plantio e colheita de dois diferentes cultivos em faixas, ressaltando que para colheita de amendoim é necessário maquinários especiais. Deve-se notar também que o manejo químico de plantas daninhas pode apresentar possíveis problemas de fitotoxicidade e deriva de herbicidas, uma vez que, há poucos registros de herbicidas para a cultura do amendoim. Em contrapartida, há oportunidade de diversificar a produção, fortalecer a estratégia de MRI, assegurando a produção de insetos homocigotos suscetíveis a tecnologia Bt, colaborando para a longevidade da tecnologia Bt e como consequência melhorar a rentabilidade dos cultivos, evitar aplicações calendarizadas após o monitoramento efetivo e aumentar o número de inimigos naturais e polinizadores nas lavouras, promovendo a sustentabilidade no sistema de cultivo de soja e conservando os benefícios socioambientais e econômicos. Também evita a dificuldade de encontrar sementes de soja convencional, que é um dos motivos que os agricultores alegam para não adotar refúgio.

## 6. CONCLUSÕES

- *Chrysodeixis includens* e *S. frugiperda* completam o ciclo de vida e os adultos são férteis quando as larvas utilizam soja ou amendoim como recurso alimentar.
- O desenvolvimento de *Spodoptera frugiperda* em soja demonstra que este inseto parece ter se adaptado à condição de sucessão de cultivos, comum no Brasil.
- A pequena diferença nos ciclos biológicos não impede que haja sincronia na emergência de adultos e, dessa forma, o amendoim cultivado nas proximidades de soja geneticamente modificada expressando proteína inseticida pode servir como refúgio alternativo dentro de um programa de MRI.

## 7. REFERÊNCIAS

- Alford AR, Hammond Junior AN (1982) Plusinae (Lepidoptera: Noctuidae) populations in Louisiana soybeans ecosystems as determined with loop lure-baited traps. **Journal of Economic Entomology** 4:647-650.
- Andow D (1983) The extent of monoculture and its effects on insect pest populations with particular reference to wheat and cotton. **Agriculture, Ecosystems & Environment** 9:25-35.
- Andow D (2008) The risk of resistance evolution in insects to transgenic insecticidal crops. **Collection of Biosafety Reviews** 4:142-199.
- Argôlo-Filho RC, Loguercio LL (2014) *Bacillus thuringiensis* is an environmental pathogen and host-specificity has developed as an adaptation to human-generated ecological niches. **Insects** 1:62-91.
- Awmack CS, Leather SR (2002) Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. **Annual Review of Entomology** 817-844.
- Baldin ELL, Lourenção AL, Schlick-Souza EC (2014) Outbreaks of *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) in common bean and castor bean in São Paulo State, Brazil. **Bragantia** 4:458-461.
- Bavaresco A, Garcia MS, Grützmacher AD, Foretsi J, Ringenberg R (2001) Efeito de fontes de carboidratos sobre o desempenho reprodutivo de *Spodoptera cosmioides* (Walk., 1858) (Lepidoptera: Noctuidae). **Revista Brasileira de Agrociência** 7:177-180.
- Bernardi O, Sorgatto RJ, Barbosa AD, Domingues FA, Dourado PM, Carvalho RA, Martinelli S, Head GP, Omoto C (2014) Low susceptibility of *Spodoptera cosmioides*, *Spodoptera eridania* and *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to genetically-modified soybean expressing Cry1Ac protein. **Crop Protection** 33-40.
- Bernardi O, Bernardi D, Horikoshi RJ, Omoto C (2016) **Manejo da Resistência de Insetos a Plantas Bt**. Engenheiro Coelho: PROMIP–Manejo Integrado de Pragas.
- Birch LC (1948) The intrinsic rate of natural increase of on insect population. **Journal of Animal Ecology** 17:15-26.
- Bobrowski VL, Fiuza LM, Pasquali G, Bodanese-Zanettini MH (2003) Genes de *Bacillus thuringiensis*: uma estratégia para conferir resistência a insetos em plantas. **Ciência Rural** 5:843-850.
- Boregas KGB, Mendes SM, Waquil JM, Wilson G (2013) Estádio de adaptação de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em hospedeiros alternativos. **Bragantia** 1:61-70.

Botelho ABRZ, Silva IF, Ávila CJ (2018) Effectiveness reduction of nucleopolyhedrovirus against *Chrysodeixis includens* days after application in soybean plants. **Revista de Agricultura Neotropical** 4:94-99.

Botelho ABRZ, Silva IF, Ávila CJ (2019) **Aspectos biológicos da lagarta-falsa medideira e sua criação em laboratório com dieta artificial**. Dourados: Embrapa, p. 25 (Circular Técnica, 47).

Bravo A, Likitvivatanavong S, Gill SS, Soberón M (2011) *Bacillus thuringiensis*: a story of a successful bioinsecticide. **Insect biochemistry and molecular biology** 7:423-431.

Brookes G, Barfoot P (2018) Farm income and production impacts of using GM crop technology 1996-2016. **GM Crops & Food** 9:59-89.

Bueno AF, Batistela MJ, Moscardi F, Bueno RCOF, Nishikawa M, Hidalgo G, Silva L, Garcia A, Corbo E, Silva RB (2010) **Níveis de desfolha tolerados na cultura da soja sem a ocorrência de prejuízos à produtividade**. Londrina: Embrapa-CNPSo. (Embrapa CNPSo. Circular técnica, 79).

Bueno RCO, Bueno AF, Moscardi F, Parra JRP, Hoffmann-Campo CB (2011) Lepidopteran larvae consumption of soybean foliage: basis for developing multiple-species economic thresholds for pest management decisions. **Pest Management Science** 2:170-174.

Butt BA, Cantu E (1962) **Sex determination of lepidopterous pupae**. Washington: United States Department of Agriculture, 33-75.

Caixeta DF (2014) **Marcação, voo tutorado e dispersão de *Anticarsia gemmatalis* (Hübner) (Lepidoptera: Erebidae) e *Chrysodeixis includens* (Walker)(Lepidoptera: Noctuidae)**. 83 f. Tese (Doutorado em Entomologia Agrícola) - Unesp, Jaboticabal.

Carneiro AA, Guimaraes CT, Valicente FH, Waquil JM, Vasconcelos MJV, Carneiro NP, Mendes SM (2009) **Milho Bt: teoria e prática da produção de plantas transgênicas resistentes a insetos-praga**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, p. 25. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 135).

Carroll MJ, Schmelz EA, Meagher RL, Teal PE (2006) Attraction of *Spodoptera frugiperda* larvae to volatiles from herbivore-damaged maize seedlings. **Journal of Chemical Ecology** 32:1911-1924.

Castro YC, Rojas CG, Cedeño CV, Velásquez VV (2009) Desarrollo de una metodología de crianza en laboratorio del gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) como posible hospedante de insectos biocontroladores de interés agrícola. **Tecnología en Marcha** 4:28-37.

Céleres (2019) **Informativo de biotecnologia céleres**. v. IB 19.01. Disponível em: [http://www.celeres.com.br/wpcontent/uploads/2019/11/BoletimBiotecnologiaCéleres\\_Novembro2019-2.pdf](http://www.celeres.com.br/wpcontent/uploads/2019/11/BoletimBiotecnologiaCéleres_Novembro2019-2.pdf). Acesso em: 04 jul. 2023.

Cock MJW, Beseh PK, Buddie AG, Cafá G, Crozier J (2017) Molecular methods to detect *Spodoptera frugiperda* in Ghana, and implications for monitoring the spread of invasive species in developing countries. **Scientific Reports** 7:4103.

Contini RE (2020) **Resistência e tolerância de lagartas desfolhadoras da soja a inseticidas**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – UDESC, Lages.

Coping LG, Menn JJ (2000) Biopesticides: a review of their action, applications and efficacy. **Pest Management Science** 651-676.

Cruz I (1995) **A lagarta-do-cartucho na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, p. 45. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 21).

Cruz I, Monteiro MAR (2004) **Controle biológico da lagarta do cartucho do milho *Spodoptera frugiperda* utilizando o parasitoide de ovos *Trichogramma pretiosum***. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico 98). 4p.

De Maagd RA, Bosch D, Stiekema W (1999) *Bacillus thuringiensis* toxin-mediated insect resistance in plants. **Trends in Plant Science** 4:9-13.

Dively GP, Venugopal PD, Bean D, Whalen J, Holmstrom K, Kuhar TP, Doughty HB, Patton T, Cissel W, Hutchison D (2018) Regional pest suppression associated with widespread Bt maize adoption benefits vegetable growers. **Proceedings of the National Academy of Sciences** 3320-3325.

Erb M, Reymond P (2019) Molecular interactions between plants and insect herbivores. **Annual Review of Plant Biology** 70:527-557.

Farias JR, Andow DA, Horikoshi RJ, Sorgatto RJ, Fresia P, dos Santos AC, Omoto C (2014) Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Crop Protection** 150-158.

Fatoretto JC, Michel PA, Silva Filho MC, Silva N (2017) Adaptive Potential of Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) limits Bt Trait Durability in Brazil. **Journal of Integrated Pest Management** 1:17.

Glare TR, Jurat-Fuentes JL, O'Callaghan M (2017) Basic and applied research: entomopathogenic bacteria. In: Lacey LA. **Microbial control of insect and mite pests**. London: Academic press, 47-67.

Goergen G, Kumar PL, Sankung SB, Togola A, Tamò M (2016) 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** 11:165-632.

Gould F (1998) Sustainability of transgenic insecticidal cultivars: integrating pest genetics and ecology. **Annual Review of Entomology** 701-726.

Guedes JC, Stecca CS, Rodrigues RB, Bigolin M (2011) Estratégias de manejo contra as lagartas desfolhadoras em soja. **Revista Cultivas** 139:26.

Gryspeirt A, Grégoire JC (2012) Effectiveness of the High Dose/Refuge Strategy for Managing Pest Resistance to *Bacillus thuringiensis* (Bt) Plants Expressing One or Two Toxins. **Toxins** 10:810-835.

Head GP, Greenplate J (2012) The design and implementation of insect resistance management programs for Bt crops. **GM Crops & Food** 3:144-153.

Kogan M, Herzog DC (1980) **Sampling soybean looper on soybean**. In: Kogan M, Herzog DC. Sampling methods in soybean entomology. New York: Springer-Verlag 141-168.

Hoffmann-Campo CB, Moscardi F, Correa-Ferreira BS, Sosa-Gómez DR, Panizzi AR, Corso IC, Gazzoni DL, Oliveira EB (2000) **Pragas da soja no Brasil e seu manejo integrado**. Londrina: Embrapa Soja, 70.

Hoffmann-Campo CB, Correa-Ferreira BS, Moscardi F (2012) **Soja: Manejo Integrado de Insetos e outros Ártropodes-praga**. Brasília: Embrapa, 673-724.

Hutchison WD, Burkness EC, Mitchell PD, Moont RD, Leslie W, Fleischer SJ, Abrahamson M, Hamilton KL, Steffey KL, Gray ME, Hellmichl RL, Kaster LV, Hunt TE, Wright JR, Pecinovsky K, Rabaey TL, Flood BR, Raun ES (2010) Areawide suppression of European corn borer with Bt maize reaps savings to non-Bt maize growers. **Science** 330:222-225.

ISAAA (2020) **ISAAA Brief 55-2019: executive Summary Biotech Crops Drive Socio-Economic Development and Sustainable Environment in the New Frontier**. Disponível online

em: <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/55/executivesummary/default.asp>. Acesso em: 04 jul. 2023.

Jervis MA, Boggs CL, Ferns PN (2005) Egg maturation strategy and its associated trade-offs: a synthesis focusing on Lepidoptera. **Ecological Entomology** 30:359-375.

Kogan M, Cope D (1974) Feeding and nutrition of insects associated with soybeans. 3 Food intake, utilization and growth in the soybean looper, *Pseudoplusia includens*. **Annals of the Entomological Society of Americ** 1:66-72.

Krebs CJ (1994) **Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance**. Harper Collins, New York, NY.

Kromann SH, Saveer AM, Binyameen M, Bengtsson M, Birgersson G, Hansson BS, Schlyter F, Witzgall P, Ignell R, Becher PG (2015) Concurrent modulation of neuronal and behavioural olfactory responses to sex and host plant cues in a male moth. **Proceedings of the Royal Society B** 282:20141884.

Landis DA (2017) Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. **Basic and Applied Ecology** 18:1-12.

Leite NA, Mendes SM, Waquil JM, Pereira EJG (2011) **O milho Bt no Brasil: a situação e evolução da resistência de insetos**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 46 p. (Documentos).

Leuck DB, Perkins WD (1972) A method of estimating fall armyworm progeny reduction when evaluating control achieved host-plant resistance. **Journal of Economic Entomology** 2:482-483.

Levin DA (1973) The role of trichomes in plant defense. **The Quarterly Review of Biology** 48:3-15.

Luz PMC, Specht A, Paula-Moraes SV, Malaquias JV, Ferreira LFM, Otanásio PN, Diniz IR (2019) Owllet moths (Lepidoptera: Noctuoidea) associated with Bt and non-Bt soybean in the Brazilian savanna. **Brazilian Journal of Biology** 79:248-256.

Machado KG, De Lemos RNS, Medeiros FR (2014) Biologia comparada de populações da lagarta-do-cartucho em folhas de milho e mandioca. **Revista Caatinga** 4:234-239.

Maia ADH, Luiz AJ, Campanhola C (2000) Statistical inference on associated fertility life table parameters using Jackknife technique: computational aspects. **Journal of Economic Entomology** 2:511-518.

Martinelli S, De Carvalho RA, Dourado PM, Head GP (2017) **Resistance of *Spodoptera frugiperda* to *Bacillus thuringiensis* Proteins in the Western Hemisphere**. In: Fiuza LM, Polanczyk RA, Crickmore N (Ed.). *Bacillus thuringiensis* and *Lysinibacillus sphaericus*: characterization and use in the field of biocontrol. New York: Springer 273-288.

Mascarenhas RN, Pitre HN (1997) Oviposition responses of soybean looper (Lepidoptera: Noctuidae) to varieties and growth stage of soybean. **Environmental Entomology** 26:76-83.

Mendes SM, Waquil JM, Viana P (2011) Área de refúgio é necessária? **Campo & Negócios** 104: 80-81.

Milano P, Berti-Filho E, Parra JRP, Oda ML, Cônsoli FL (2010) Efeito da alimentação da fase adulta na reprodução e longevidade de espécies de Noctuidade, Crambidae, Tortricidade e Elachistidade. **Neotropical Entomology** 39:172-180.

Miranda-Anaya M, Guevara-Fefer P, García-Rivera BE (2002) Circadian locomotor activity in the larva and adult fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Noctuidae): Effect of feeding with the resistant variety of maize CML67. **Biological Rhythm Research** 5:475-486.

Mitchell ER (1967) Life history of *Pseudoplusia includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of the Georgia Entomological Society** 2:53-57.

Mithöfer A, Boland W (2012) Plant defense against herbivores: chemical aspects. **Annual Review of Plant Biology** 63:431-450.

- Mohamed HI, Haleem MA, Mohamed NM, Ashry NA, Zaky LM, Mogazy AM (2021) Comparative effectiveness of potential elicitors of soybean plant resistance against *Spodoptera Littoralis* and their effects on secondary metabolites and antioxidant defense system. **Gesunde Pflanzen** 73:273-285.
- Montezano DG, Specht A, Sosa-Gómez DR, Roque-Specht VF, Sousa-Silva JC, Paula-Moraes SV, Peterson JA, Hunt TE (2018) Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. **African Entomology** 26:286-300.
- Moreau J, Benrey B, Thiéry D (2006) Grape variety affects larval performance and also female reproductive performance of the European grapevine moth *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). **Bulletin of Entomological Research** 96:205-212.
- Moscardi F, Bueno A de F, Sosa-Gómez DR, Roggia S, Hoffmann-Campo CB, Pomari AF, Corso IC, Yano SAC (2012) **Artrópodes que atacam as folhas da soja**. In: Hoffmann-Campo CB, Corrêa-Ferreira BS, Moscardi F. Soja: manejo Integrado de Insetos e outros Artrópodes Praga. Brasília, DF: Embrapa p. 213-334.
- Murúa G, Virla E (2004) Population parameters of *Spodoptera frugiperda* (SMITH) (Lepidoptera: Noctuidae) fed on corn and two predominant grasses in Tucuman (Argentina). **Acta Zoológica Mexicana** 20:199-210.
- Naranjo SE (2019) Assessing insect flight behavior in the laboratory: a primer on flight mill methodology and what can be learned. **Annals of the Entomological Society of America** 112:182-199.
- Nicolia A, Manzo A, Veronesi F, Rosellini, D (2013) An overview of the last 10 years of genetically engineered crop safety research. **Critical Reviews in Biotechnology** 34:77-88.
- Oerke E (2006) Crop losses to pests. **The Journal of Agricultural Science** 144:31-43.
- Oliveira LJ, Parra JRP, Cruz I (1990) Nutrição quantitativa de lagarta do cartucho em milho cultivado para três níveis de alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 25: 157-166.
- Painter RH (1951) Insect resistance in crop plants. **Soil Science** 72: 481.
- Parra JRP (1991) **Consumo e utilização de alimento por insetos**. In: Panizzi AR, Parra JRP (Ed) Ecologia nutricional e suas implicações no manejo de pragas. São Paulo: Manole 9-65.
- Parra JRP (2001) **Técnicas de criação de insetos para programa de controle biológico**. Piracicaba: FEALQ, 134 p.
- Pashley DP (1986) Host-associated genetic differentiation in fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae): A sibling species complex? **Annals of the Entomological Society of America** 79:898-904.

Pashley DP (1988) Quantitative genetics, development, and physiological adaptation in host strains of fall armyworm. **Evolution** 42:93-102.

Pencoe NL, Martin PB (1982) Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) larval development and adult fecundity on five grass hosts. **Environmental Entomology** 11:720-724.

Peruca RD (2015) **Consumo alimentar e biologia de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Noctuidae) alimentada com folhas de soja, submetidas à herbivoria prévia.** 106 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária) - Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande.

Peruca RD, Coelho RG, da Silva GG, Pistori H, Ravaglia LM, Roel AR, Alcantara G B (2017). Impacts of soybean-induced defenses on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) development. **Arthropod-Plant Interactions** 12:257-266.

Picanço MC (2010) **Manejo integrado de pragas.** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa.

Pinto JRL, Fernandes AO (2019) Flutuação populacional e análise faunística de lepidópteros desfolhadores na cultura do amendoim. In: ENCONTRO SOBRE A CULTURA DO AMENDOIM, 16. Jaboticabal: Estação de Eventos Cora Coralina e FCAV/UNESP, 2019.

Pitre H, Hogg D (1983) Development of the fall armyworm on cotton, soybean and corn [*Spodoptera frugiperda*]. **Journal of the Georgia Entomological Society** 18.

Price PW (1984) Research questions in ecology relating to community ecology, plant-herbivore interactions, and insect ecology in general. **Trends in Ecological Research for the 1980s** 75-88.

Raymond B, Johnston PR, Nielsen-LeRoux C, Lereclus D, Crickmore N (2010) *Bacillus thuringiensis*: an impotent pathogen? **Trends Microbiology** 18:189-194.

Sá VGM, Fonseca, BVC, Boregas KGB, Waquil JM (2009) Sobrevivência e desenvolvimento larval de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em hospedeiros alternativos. **Neotropical Entomology** 38:108-115.

Santos HG, Jacomine PK, Anjos LHC, Oliveira VA, Oliveira JB, Coelho MR, Lumbreras JF, Cunha TJF (2006) (Ed.) **Sistema de classificação de solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 306p.

Santos S, Specht A, Carneiro E, Paula-Moraes SV, Casagrande MM (2017) Interseasonal variation of *Chrysodeixis includens* (Walker, 1858) (Lepidoptera: Noctuidae) populations in the Brazilian Savanna. **Revista Brasileira de Entomologia** 61:294-299.

SAS Institute (2011) **User's Guide.** V. 9.2. Cary, NC: SAS Institute Inc.

Schneider C, Rasband W, Eliceiri KNH (2012) Image to ImageJ: 25 years of image analysis. **Nature Methods** 9:671-675.

Shah TH (2017) Plant nutrients and insects development. **International Journal of Entomology Research** 2:54-57.

Sharma HC, Ortiz R (2002) Host plant resistance to insects: an eco-friendly approach for pest management and environment conservation. **Journal of Environmental Biology** 23:111-35.

Siegel JP (2001) The mammalian safety of *Bacillus thuringiensis* based insecticides. **Journal of Invertebrate Pathology** 77:13-21.

Siegfried B, Jurat-Fuentes JL (2016) Editorial overview: Pests and resistance: Resistance to Bt toxins in transgenic crops. **Current Opinion in Insect Science** 15:4-6.

Silva CS (2020) **Dinâmica populacional histórica e contemporânea de *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) no Brasil**. 101 f. Tese (Doutorado em Entomologia Agrícola) – USO, Piracicaba.

Silva D MD, Bueno ADF, Andrade K, Stecca CDS, Neves PMOJ, Oliveira MCND (2017) Biology and nutrition of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed on different food sources. **Scientia Agricola** 74:18-31.

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

Simon GN, Tramontini LS, Kirchner JH (2021) Flutuação populacional e eficiência de panos de batida na coleta de *Spodoptera frugiperda* na cultura da soja em Espumoso/RS. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research** 4:5592-5598.

Soares, JRS, da Silva RS, Ramos RS, Picanço MC (2021) Distribution and invasion risk assessments of *Chrysodeixis includens* (Walker, [1858]) (Lepidoptera: Noctuidae) using CLIMEX. **International Journal of Biometeorology** 65:137-1149

Sosa-Gómez DR, Corrêa-Ferreira BS, Hoffmann-Campo CB, Corso IC, Oliveira LJ, Moscardi F, Panizzi AR, Bueno AF, Hirose E (2010) **Manual de identificação de insetos e outros invertebrados da cultura da soja**. Londrina: Embrapa: CNPSoja, 90p. (Embrapa- CNPSoja - Documentos, 269).

Sosa-Gómez DR, Omoto C (2012) Resistência a inseticidas e outros agentes de controle em artrópodes associados à cultura da soja. In: Hoffmann-Campo CB, Corrêa-Ferreira BS, Moscardi F. **Manejo Integrado de Insetos e outros Artrópodes-Praga**. Brasília: Embrapa :673-724.

Soto EM, Padró J, Milla Carmona P, Tuero DT, Carreira VP, Soto IM (2018) Pupal emergence pattern in cactophilic *Drosophila* and the effect of host plants. **Insect Science** 25:1108-1118.

Southwood TRE (1978) **Ecological methods**. Chapman & Hall, London, United Kingdom.

Sparks AN (1979) Fall Armyworm Symposium: A review of the biology of the fall armyworm. **Florida Entomologist** 62:82-87.

Specht A, Sós-Gomez DR, Roque-Specht VF, Valduga E, Gonzatti F, Schuh SM, Carneiro E (2019) Biotic Potential and Life Tables of *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae), *Rachiplusia nu*, and *Trichoplusia ni* on Soybean and Forage Turnip. **Journal of Insect Science** 19:8.

Specht, A, Paula-Moraes SV, Sosa-Gómez DR (2015) Host plants of *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera, Noctuidae, Plusiinae). **Revista Brasileira de Entomologia** 59:343-345.

Storer NP, Peck SL, Gould F, Van Duyn JW, Kennedy GG (2003) Spatial processes in the evolution of resistance in *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) to Bt transgenic corn and cotton in a mixed agroecosystem: a biology-rich stochastic simulation model. **Journal of Economic Entomology** 96:156-172.

Sun, XX, Hu CX, Jia HR, Wu QL, Shen XJ, Zhao SY, Jiang YY, Wu KM (2021) Case study on the first immigration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* invading into China. **Journal of Integrative Agriculture**, 20:664-672.

Tabashnik BE, Gassmann AJ, Crowder DW, Carrière Y (2008) Insect resistance to Bt crops: evidence versus theory. **Nature Biotechnology** 26:199-202.

Tabashnik BE, Rensburg VBBJ, Carrière Y (2009) Field-evolved insect resistance to Bt crops: Definition, theory, and data. **Journal of Economic Entomology** 102:2011-2025.

Tabashnik BE, Carrière Y (2017) Surge in insect resistance to transgenic crops and prospects for sustainability. **Nature Biotechnology** 35:926-935.

Tregenza T, Wedell N (2002) Polyandrous females avoid costs of inbreeding. **Nature** 415:71-73.

Valicente FH (2015) **Manejo integrado de pragas na cultura do milho**. Embrapa: Sete Lagoas. (Circular técnica nº 208). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/125260/1/circ-208.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2023.

Vilarinho EC, Fernandes OA, Hunt TE, Caixeta DF (2011) Movement of *Spodoptera frugiperda* adults (Lepidoptera: Noctuidae) in Maize in Brazil. **Florida Entomologist** 94:480-488.

Vilela M, Mendes SM, Valicente FH, Carvalho SSS, Santos AE, Santos CA, Araújo OG, Barbosa TAN, Carvalho EAR, Costa VHD (2014) **Metodologia para Criação e Manutenção de *Helicoverpa armigera* em Laboratório**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo (Circular Técnica 203).

Visser A, Van den Berg J (2020) Bigger, faster, stronger: implications of inter-species interactions for IRM of lepidopteran pests of bt maize in Africa. **Journal of Integrated Pest Management** 11:16.

Wan J, Huang C, Li C-U, Zhou H-X, Ren Y-I, Li Z-Y, Xing L-S, Zhang B, Q X, LIU B, Liu C-H, Xi Y, Liu W-X, Wang W-K, Qian W-Q, Mckirdy S, Wan FH (2021) Biology, invasion and management of the agricultural invader: Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Integrative Agriculture** 20:646-663.

Wu KJ, Li MH (1993) Nutritional ecology of the cotton bollworm, *Heliothis armigera* (Hübner): Life tables of the population on the artificiais diets with different protein levels. **Acta Entomologica Sinica** 36:21-28.

Zulin D, Ávila C, Schlick-Souza E (2018) Population Fluctuation and Vertical Distribution of the Soybean Looper (*Chrysodeixis includes*) in Soybean Culture. **American Journal of Plant Sciences** 9:1544-1556.