



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E
BIOTECNOLOGIA - REDE BIONORTE

JULIANA LOPES DOS SANTOS

**PRAGAS EMERGENTES NA SOJA: ANÁLISES
MORFOLÓGICAS, REDES NEURAIS E MANEJO
INTEGRADO**

Palmas/TO

2024

Juliana Lopes dos Santos

Pragas emergentes na soja: Análises morfológicas, redes neurais e manejo integrado

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede BIONORTE. Foi avaliada para obtenção do título de Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Prof. Dr. Joenes Mucci Peluzio
Coorientadores: Prof. Dr. Renato de Almeida Sarmiento e Prof. Dr. Marcelo Coutinho Picanço

Palmas/TO

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

S237p Santos, Juliana Lopes dos.
Pragas emergentes na soja: análise morfológicas, redes neurais e manejo integrado. / Juliana Lopes dos Santos. – Palmas, TO, 2024.
105 f.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus
Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Doutorado) em
Biodiversidade e Biotecnologia, 2024.

Orientador: Joenes Mucci Peluzio

Coorientador: Renato Almeida Sarmiento

1. Manejo integrado de pragas. 2. Biologia de pragas. 3. Redes neurais. 4.
Agricultura de precisão. I. Título

CDD 660.6

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO


Juliana Lopes dos Santos

Pragas emergentes na soja: Análises Morfológicas, Redes Neurais e Manejo Integrado


Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede BIONORTE. Foi avaliada para obtenção do título de Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora.

Aprovada em: 29 / 11 / 2024


Banca examinadora

Documento assinado digitalmente
 **JOENES MUCCI PELUZIO**
Data: 19/02/2025 11:58:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Dr. Joenes Mucci Peluzio(Orientador)
Universidade Federal do Tocantins

Documento assinado digitalmente
 **GUILHERME NOBRE LIMA DO NASCIMENTO**
Data: 04/02/2025 21:24:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Dr. Guilherme Nobre Lima do Nascimento
Universidade Federal do Tocantins

Documento assinado digitalmente
 **RICARDO SIQUEIRA DA SILVA**
Data: 23/01/2025 10:39:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Ricardo Siqueira da Silva
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Documento assinado digitalmente
 **MARCOS ANTONIO LIMA BRAGANCA**
Data: 23/01/2025 09:16:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcos Antônio Lima Bragança
Universidade Federal do Tocantins

Documento assinado digitalmente
 **TAMIRIS ALVES DE ARAUJO**
Data: 23/01/2025 14:52:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Tamiris Alves de Araújo
Universidade Federal de São Carlos

Palmas, 2024

*“Com efeito, grandes coisas fez o Senhor
por nós, por isso, estamos alegres”
Salmos 126:3.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me fortalecido nos momentos que precisei, por ter me dado sabedoria para enfrentar as dificuldades e por me permitir chegar aonde estou hoje com saúde.

Agradeço a minha mãe Neusirene, minha irmã Mariane, meu padrasto Ricardo, aos meus avós Divino e Vanilde, as tias Daniella, Fernanda e Adriana, aos primos Ana Júlia e Werley Júnior e a todos os outros familiares, que me deram todo o apoio e suporte emocional durante todo o doutorado.

Agradeço ao meu orientador Joenes Mucci Peluzio e aos meus coorientadores professores Marcelo Coutinho Picanço e Renato de Almeida Sarmiento, pela paciência, dedicação e ensinamentos que possibilitaram que eu realizasse este trabalho, e que fizeram com que este período fosse muito enriquecedor e de grande aprendizado, não só cientificamente, mas também pelas lições de vida ensinadas por ambos.

Agradeço aos meus companheiros do grupo de pesquisa em especial aos meus companheiros do grupo de Manejo Integrado de Pragas (MIP), Poliana Silvestre, Kayo Herberth e Hugo Daniel, Luciane e Warly por toda ajuda e apoio e pelo trabalho duro que desempenhamos para que alcançássemos os objetivos. Aos outros companheiros do Laboratório de Ecologia Aplicada e Funcional, Jovielly, Pedro Augusto, Mariane, Nivea, Letícia, Thayrine e Laina por sempre estarem dispostos a ajudar quando necessário. Agradeço a colega de doutorado Bruna Leticia pela ajuda nas coletas em campo e pela amizade. Agradeço também aos colegas do grupo de Manejo Integrado de Pragas da UFV. Agradeço a UFT pelo espaço físico e pelos recursos para coleta dos dados em campo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede BIONORTE. Agradeço também ao CNPq pela bolsa de doutorado e a CAPES pela bolsa de doutorado sanduiche.

RESUMO

O trabalho investiga o manejo integrado de pragas emergentes na cultura da soja, com foco em *Macrosaccus morrisella*, mosca-branca (*Bemisia tabaci*) e tripes, pragas que têm causado sérios prejuízos em plantações tanto no Brasil quanto nos Estados Unidos. O estudo aborda aspectos biológicos das pragas e propõe estratégias de controle baseadas no manejo integrado de pragas (MIP). Dentre os principais objetivos estão a definição do número de ínstares larvais e o dimorfismo sexual de *M. morrisella*, a proposição de um sistema de zonas de manejo para o controle de tripes e o desenvolvimento de modelos preditivos para estimar as perdas de produtividade causadas por *B. tabaci*. No caso de *M. morrisella*, o estudo determinou a existência de cinco ínstares larvais, com sobreposição nas distribuições de tamanho das cápsulas cefálicas entre o terceiro e o quarto ínstar, que apresentam diferenças morfológicas nas peças bucais (alimentação por seiva e alimentação de tecido). A tese também apresentou um método para distinguir o sexo das pupas observando-se as gônadas visíveis nos machos e ausentes nas fêmeas. Isso é importante para a aplicação de estratégias de controle mais precisas, baseadas em comportamentos sexuais específicos. Além disso, a tese propõe o uso de zonas de manejo para otimizar o controle de tripes, integrando práticas como o monitoramento e possibilitando a aplicação direcionada de inseticidas. Em relação à *B. tabaci*, foi desenvolvido um modelo utilizando redes neurais artificiais (RNAs) para prever a perda de rendimento da soja associada ao ataque dessa praga, contribuindo para o planejamento mais eficaz do controle químico e biológico. O peso médio do grão, o número de flores por planta e o número de óvulos por vagem foram identificados como os componentes que mais influenciaram o rendimento da soja, tendo correlação positiva com o rendimento. Em contraste, o abortamento de flores e a má formação das vagens tiveram correlação negativa afetando negativamente o rendimento de grãos. O menor rendimento foi observado quando as infestações ocorreram no estágio vegetativo. Assim, o trabalho contribui significativamente para o manejo sustentável de pragas, enfatizando a importância de práticas integradas e o uso de novas tecnologias, como a agricultura de precisão, para minimizar o impacto ambiental e garantir a eficiência do controle.

Palavras-Chave: *Glycine max*; Zonas de manejo; MIP; Controle; Rendimento; Redes neurais; Agricultura de precisão; Biologia de pragas.

ABSTRACT

The study investigates the integrated pest management (IPM) of emerging pests in soybean crops, focusing on *Macrosaccus morrisella* (soybean tentiform leafminer), whitefly (*Bemisia tabaci*), and thrips, pests that have caused significant damage to plantations in both Brazil and the United States. The study addresses the biological aspects of these pests and proposes control strategies based on IPM. Among the main objectives are the determination of the number of larval instars and sexual dimorphism of *M. morrisella*, the proposal of a management zone system for thrips control, and the development of predictive models to estimate yield losses caused by *B. tabaci*. In the case of *M. morrisella*, the study determined the existence of five larval instars, with overlapping size distributions of head capsules between the third and fourth instars, which exhibit morphological differences in the mouthparts (sap-feeding and tissue-feeding). The thesis also presented a method for distinguishing the sex of the pupae by observing visible gonads in males and their absence in females. This is important for applying more precise control strategies based on sex-specific behaviors. Additionally, the thesis proposes the use of management zones to optimize thrips control by integrating practices such as monitoring and allowing for targeted insecticide applications. Regarding *B. tabaci*, a model using artificial neural networks (ANN) was developed to predict soybean yield loss associated with the pest's attack, contributing to more effective planning of chemical and biological control strategies. The average grain weight, the number of flowers per plant, and the number of ovules per pod were identified as the components that most influenced soybean yield, showing a positive correlation with yield. In contrast, flower abortion and poor pod development had a negative correlation, adversely affecting grain yield, with the lowest yield observed when infestations occurred during the vegetative stage. Thus, the study significantly contributes to sustainable pest management, emphasizing the importance of integrated practices and the use of new technologies, such as precision agriculture, to minimize environmental impact and ensure effective control.

Key-words: *Glycine max*; Management zones; IPM; Control; Yield; Neural networks; Precision agriculture; Pest biology.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

CAPITULO II - Determinação de instar e sexo para *Macrosaccus morrisella* (Lepidoptera: Gracillariidae)

Figura 1- Distribuição de frequência da largura da cápsula cefálica das larvas de *Macrosaccus morrisella*. As medições diárias foram obtidas de um subconjunto de plantas de uma coorte ovipositada no mesmo dia. Esse subconjunto de plantas foi submetido a amostragem destrutiva a cada dia subsequente..... 38

Figura 2- Larva de 5º instar de *Macrosaccus morrisella* com cápsulas cefálicas de seus estádios anteriores (indicadas em círculos), obtidas de uma única mina tentiforme contendo apenas uma larva. 38

Figura 3- Larvas de primeiro (A) e segundo (B) estádios de *M. morrisella* observadas em minas do tipo serpentina (G), larva de terceiro estádio de *M. morrisella* (C) observada em minas do tipo redonda (H), e larvas de quarto (D) e quinto (E) estádios, além de pupa (F) de *M. morrisella* observadas em minas tentiformes, com vistas abaxial (inferior) (J) e adaxial (superior) (I) das minas tentiformes. 40

Figura 4- Proporção de larvas de *Macrosaccus morrisella* em cada estádio por dia. As medições diárias foram obtidas de um subconjunto de plantas de soja infestadas de uma coorte ovipositada no mesmo dia. Subconjuntos das plantas de soja foram amostrados de forma destrutiva a cada dia. 42

Figura 5- Vistas dorsais do macho (A) e da fêmea (C) de pupas de *Macrosaccus morrisella*, vistas ventrais do macho (B) e da fêmea (D) pupas de *M. morrisella*, e metatórax, asas posteriores e abdômen dos machos (E e F) e fêmeas (G e H) adultos de *M. morrisella*..... 43

CAPITULO III - Modelos para previsão de perdas de produtividade de plantas de soja devido ao ataque de ninfas de *Bemisia tabaci* utilizando redes neurais artificiais

Figura 1- Rendimento de plantas de soja em função da densidade de *Bemisia tabaci* nos estágios vegetativo e reprodutivo dessas plantas. 59

Figura 2- Diagrama esquemático da rede neural artificial (RNA) vencedora. A RNA consiste em uma camada de entrada (I) com seis neurônios, uma camada oculta com quatro neurônios (H) e uma camada de saída (O) com um único neurônio. Fl_total, flores totais; Ab_fl, abortamento de flores; Ab_vg, abortamento de vagens; Ovl_vg, óvulos por vagem; Ab_ovl, abortamento de óvulos; e pmg, peso médio do grão (g). Linhas pretas representam pesos positivos entre as camadas (linhas cinzas caso contrário) e a espessura da linha corresponde à magnitude relativa de cada peso. 61

Figura 3- Importância relativa (média e intervalo de confiança de 95%) dos preditores para a variável de resposta estimada a partir dos pesos vencedores da rede neural artificial (RNA) por

meio do método de Olden. Foram criadas 147 RNAs com diferentes pesos iniciais, e a importância dos preditores foi calculada e armazenada para permitir o cálculo de médias e intervalos de confiança. Fl_total, flores totais; Ab_fl, abortamento de flores; Ab_vg, abortamento de vagens; Ovl_vg, óvulos por vagem; Ab_ovl, abortamento de óvulos; e pmg, peso médio do grão (g). 61

Figura 4- Gráficos de dependência parcial da rede vencedora mostrando a variação média da saída (Rendimento das plantas de soja) em relação aos níveis das variáveis de entrada (flores totais, flores abortadas, vagens abortadas, óvulos abortados, óvulos por vagem, peso médio de um grão), enquanto as outras variáveis de entrada são fixadas em seus valores médios. 63

Figura 5- Rendimento previstos e observados das plantas de soja sob três fases de infestação de ninfas de *Bemisia tabaci*. A variável Y foi reescalada de 0 a 1, onde 1 \approx 17,15 *Bemisia tabaci*. planta-1. 64

CAPITULO IV - Tomada de decisão para controle de tripes em lavouras de soja utilizando princípios de agricultura de precisão

Figura 1- Mapas de distribuição espacial de tripes em lavouras comerciais de soja ao longo de 2 anos. 80

Figura 2- (A) Porcentagem das áreas do campo de soja onde o controle de tripes deve ou não deve ser realizado de acordo com três abordagens: CI (programação de calendário com aplicação de inseticida em toda a área), IPM-CS (plano de amostragem convencional e nível de dano econômico [NDE = 3,43 tripes/amostra; NEVES et al., 2022]) e IPM-MZ (aplicação de controle somente na área do campo onde a densidade da praga atingiu o NDE [essas áreas são mostradas nos mapas na Figura 1]). (B) Porcentagem de áreas do campo onde ocorreram erros na decisão de controle usando os programas CI e IPM-CS; nessas comparações, o programa IPM-MZ foi utilizado como padrão.. 81

Figura 3- Tempo (média \pm erro padrão) de amostragem de tripes em campos de soja pelo IPM-CS (plano de amostragem convencional e nível de dano econômico [NDE = 3,43 tripes/amostra; NEVES et al., 2022]) e IPM- MZ (aplicação de controle apenas na área do campo onde a densidade da praga atingiu o NDE [essas áreas são mostradas nos mapas da Figura 1]). Os histogramas seguidos de mesma letra não diferem entre si, segundo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$)..... 82

Figura 4- Custos (média \pm erro padrão) de (A) amostragem, (B) controle, e (C) total dos programas CI (calendário com aplicação de inseticidas em toda a área), IPM-CS (convencional plano de amostragem e NDE [NDE = 3,43 tripes/amostra; NEVES et al., 2022]) e IPM-MZ (aplicação de controle apenas na área de campo onde a densidade da praga atingiu o NDE [essas áreas são mostradas na Figura 1]). Os histogramas seguidos de mesma letra não diferem entre si, segundo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).. 82

LISTA DE TABELAS

CAPITULO II - Determinação de ínstar e sexo para *Macrosaccus morrisella* (Lepidoptera: Gracillariidae)

Tabela 1- Variação no tamanho da largura da cápsula cefálica, comprimento do corpo e área foliar minada entre os estádios de *Macrosaccus morrisella*. 41

CAPITULO III - Modelos para previsão de perdas de produtividade de plantas de soja devido ao ataque de ninfas de *Bemisia tabaci* utilizando redes neurais artificiais

Tabela 1- Correlações de Pearson (r) entre as características das plantas de soja atacadas por este inseto nos estágios vegetativo ou reprodutivo..... 58

Tabela 2- Topologia (número de neurônios, função de ativação e algoritmo de aprendizado) e desempenho (r_v = correlação de Pearson dos dados ajustados e observados, e RMSE_v = erro quadrático médio da raiz no conjunto de validação) das redes neurais artificiais (RNA) projetadas para prever influência do ataque de *Bemisia tabaci* (y = ninfas) no rendimento da cultura da soja com os componentes de produção (flores, vagens e grãos). A RNA com melhor desempenho de acordo com o RMSE_v (menor RMSE_v) foi selecionada. 59

CAPITULO IV - Tomada de decisão para controle de tripes em lavouras de soja utilizando princípios de agricultura de precisão

Tabela 1- Estudos em diferentes áreas, locais, tamanhos e épocas são indicados abaixo..... 74

Tabela 2- Características dos modelos de distribuição espacial de tripes em quatro lavouras de soja ao longo de dois anos. 79

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	6
2. OBJETIVO.....	8
2.1 Objetivo Geral.....	8
REFERÊNCIAS.....	9
CAPÍTULO I.....	11
MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS EMERGENTES DA SOJA NO BRASIL E NOS ESTADOS UNIDOS: UMA REVISÃO.....	11
RESUMO.....	11
INTEGRATED MANAGEMENT OF EMERGING SOYBEAN PESTS IN BRAZIL AND THE UNITED STATES: A REVIEW.....	12
3. INTRODUÇÃO.....	13
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
4.1 Manejo integrado de pragas da soja no Brasil: um breve histórico.....	15
4.2 Manejo integrado de pragas da soja nos Estados Unidos: um breve histórico.....	16
4.3 Estratégias de manejo integrado de pragas.....	16
4.4 Pragas emergentes da soja no Brasil e nos Estados Unidos.....	20
4.5 Manejo integrado da mosca-branca.....	22
4.6 Manejo integrado de tripes.....	22
4.7 Manejo integrado do minador tentiforme da soja.....	23
5. CONCLUSÃO.....	24
REFERÊNCIAS.....	25
CAPÍTULO II.....	31
DETERMINAÇÃO DE ÍNSTAR E SEXO PARA <i>Macrosaccus morrisella</i> (LEPIDOPTERA: GRACILLARIIDAE).....	31
RESUMO.....	31
DETERMINATION OF INSTAR AND SEX FOR <i>Macrosaccus morrisella</i> (LEPIDOPTERA: GRACILLARIIDAE).....	32
6. INTRODUÇÃO.....	33
7. MATERIAL E MÉTODOS.....	34
7.1 Insetos.....	34
7.2 Determinação dos estágios de desenvolvimento dos imaturos.....	35
7.3 Análises estatísticas.....	36
8. RESULTADOS.....	37
9. DISCUSSÃO.....	43

10.	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS	48
	CAPÍTULO III	52
	MODELOS PARA PREVISÃO DE PERDAS DE PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE SOJA DEVIDO AO ATAQUE DE NINFAS DE <i>Bemisia tabaci</i> UTILIZANDO REDES NEURAS ARTIFICIAIS	52
	RESUMO	52
	MODELS FOR PREDICTING SOYBEAN YIELD LOSS CAUSED BY <i>Bemisia tabaci</i> NYMPH DAMAGE USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS	53
11.	INTRODUÇÃO	54
12.	MATERIAL E MÉTODOS	55
12.1	<i>Coleta de dados</i>	55
12.2	<i>Análises estatísticas</i>	56
13.	RESULTADOS	58
13.1	<i>Efeito do ataque de <i>B. tabaci</i> sobre características das plantas</i>	58
13.2	<i>Contribuição dos componentes de produção no rendimento das plantas atacadas por <i>B. tabaci</i></i>	59
14.	DISCUSSÃO	64
15.	CONCLUSÃO	66
	REFERÊNCIAS	67
	CAPÍTULO IV	70
	TOMADA DE DECISÃO PARA CONTROLE DE TRIPES EM LAVOURAS DE SOJA UTILIZANDO PRINCÍPIOS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO	70
	RESUMO	70
	DECISION-MAKING FOR THRIPS CONTROL IN SOYBEAN FIELDS USING PRECISION AGRICULTURE PRINCIPLES	71
16.	INTRODUÇÃO	72
17.	MATERIAIS E MÉTODOS	74
17.1	<i>Campos de soja</i>	74
17.2	<i>Programas de controle de pragas</i>	74
17.3	<i>Coleta de dados</i>	75
17.4	<i>Estabelecimento de zonas de manejo em lavouras de soja</i>	76
17.5	<i>Determinação de características para comparação de programas de controle de tripes</i> 76	
17.6	<i>Análise de dados</i>	78
18	RESULTADOS	78
19	DISCUSSÃO	83

20	<i>CONCLUSÃO</i>	85
	<i>REFERÊNCIAS</i>	86
21	DISCUSSÃO INTEGRADORA	92
22	CONCLUSÕES FINAIS DA TESE	95

1. INTRODUÇÃO GERAL

A soja (*Glycine max* (L) Merrill) é um dos principais cultivos agrícolas mundiais, representando um papel crucial na segurança alimentar mundial e servindo de insumo para vários setores industriais (PAGANO e MIRANSARI, 2016). A soja, além de ser usada como alimento para humanos e animais, também é amplamente utilizada na fabricação de óleo vegetal e biocombustíveis, desempenhando um papel significativo na economia de nações produtoras (PAGANO e MIRANSARI, 2016). Para o Brasil, líder mundial na exportação de soja (USDA, 2024), a produtividade deste cultivo é crucial para o mercado internacional e para a produção de divisas.

Contudo, o cultivo de soja está enfrentando desafios cada vez maiores devido ao ataque de pragas, que colocam em risco a sustentabilidade e a lucratividade da cultura. Elementos como a intensificação da agricultura, o uso impróprio de pesticidas e as alterações climáticas têm contribuído para o aumento da importância de espécies anteriormente vistas como pragas secundárias ou pragas ocasionais (HUSS et al., 2022; LEHMANN et al., 2020). Essas espécies representam possíveis pragas emergentes. Pode-se entender por praga emergente, espécies que foram relatadas apenas recentemente como pragas, ou que eram consideradas pragas ocasionais e agora se tornaram mais prejudiciais nos últimos anos (JONES et al. 2019). Estas pragas emergentes podem provocar reduções consideráveis na produtividade, bem como elevar os gastos relacionados à gestão e controle (JONES et al. 2019).

A correta identificação dessas pragas é o primeiro passo para o desenvolvimento e seleção de estratégias eficazes de manejo (BAILEY, 2007). Simultaneamente, o manejo integrado de pragas surge como uma estratégia para atenuar os efeitos dessas pragas emergentes na soja. O MIP integra estratégias biológicas, culturais e químicas de controle, com o objetivo de minimizar os prejuízos econômicos e diminuir a necessidade de pesticidas químicos (BUENO et al., 2021). Diante da crescente complexidade imposta pelas pragas emergentes, é necessário combinar tecnologias avançadas, como redes neurais, com conhecimentos ecológicos e métodos de manejo sustentáveis para tentar prever e mitigar os surtos populacionais dessas pragas.

Desde que a comunidade científica ouviu falar pela primeira vez em "manejo integrado de pragas", agricultores de todo o mundo adotaram diversas técnicas baseadas em MIP, entre elas o uso de feromônios para monitorar pragas de insetos, modelos de graus-

dia para cronometrar melhor as aplicações de inseticidas, feromônios sexuais para tecnologias de interrupção do acasalamento e plantios companheiros para controle biológico e conservação, entre outras técnicas (PIMENTEL e PESHIN, 2014).

Entender o sexo e o estágio de desenvolvimento (instar) das pragas é crucial para o Manejo Integrado de Pragas (MIP) eficaz (SIDDALL et al., 2022). Esse conhecimento permite estratégias de controle mais precisas e direcionadas, o que pode levar a melhores resultados no manejo de pragas (SIDDALL et al., 2022). O estágio de desenvolvimento das pragas afeta sua suscetibilidade aos pesticidas. Por exemplo, certos inseticidas podem prolongar o tempo de desenvolvimento das larvas e reduzir a longevidade e a fecundidade dos adultos, o que afeta o crescimento populacional geral (NAWAZ et al., 2017). Entender esses efeitos é importante para otimizar o uso de pesticidas dentro das estratégias de MIP. Conhecer o sexo e o instar das pragas permite o uso de feromônios sexuais para monitoramento e controle, ajuda a entender e prever a dinâmica populacional e permite a aplicação eficaz de técnicas de interrupção e captura de acasalamento (WITZGALL et al., 2010). Além disso, informa o uso estratégico de pesticidas para atingir estágios de desenvolvimento específicos, aumentando assim a eficácia geral dos programas de MIP.

O uso de instrumentos de agricultura de precisão, tais como drones, sensores e sistemas de geolocalização, alterou profundamente as práticas de agricultura, potencializando a eficácia e a sustentabilidade. Essas tecnologias possibilitam aos agricultores tomarem decisões fundamentadas em dados, otimizar a utilização de recursos e aumentar a produtividade das colheitas (ABIRI et al., 2023).

A combinação de análise de dados e aprendizado de máquina melhora as habilidades de previsão do crescimento das colheitas e surtos de pragas, resultando em uma distribuição mais eficaz de recursos (ROY et al., 2024). Essas tecnologias reduzem em conjunto o desperdício de recursos e o impacto no meio ambiente, incentivando práticas de agricultura sustentáveis (ROY et al., 2024). Apesar dos consideráveis benefícios das ferramentas de agricultura de precisão, persistem desafios como obstáculos tecnológicos e questões de segurança de dados, demandando progressos constantes nessas áreas.

O aparecimento de novas pragas nas plantações de soja representa uma grande preocupação para a produtividade da agricultura e da necessidade de planejar as táticas de controle. Apesar dos desafios consideráveis que as pragas emergentes representam, elas também ressaltam a importância de práticas de gestão adaptativas na agricultura. A investigação e a inovação constantes no manejo de pragas são cruciais para preservar a

produção de soja dessas ameaças em constante mudança.

A prevalência de pragas varia entre diferentes regiões e é influenciada pelo tipo de cultivar utilizada, pelas condições climáticas e pelas práticas de manejo empregadas (CABRAL et al., 2024). Diferentes espécies são consideradas pragas chave no Brasil e nos Estados Unidos (O'NEAL e JOHNSON, 2010), esse fato se deve a alguns fatores como a introdução da praga e as condições climáticas.

As pragas emergentes apresentam uma grande preocupação, pois pelo fato de antes serem pragas de pouca importância, o manejo integrado dessas pragas é escasso e pouco se tem dados sobre as perdas que essas pragas causam.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Reunir informações sobre o manejo integrado de pragas emergentes na cultura da soja.

2.1.1 Objetivos Específicos

1. Determinar o número de ínstaes, como distinguir esses ínstaes, e identificar um método simples para a diferenciação sexual de *M. Morrisella*;
2. Desenvolver modelos para prever perdas de rendimento da planta de soja devido ao ataque de *Bemisia tabaci* usando redes neurais artificiais;
3. Propor um sistema de tomada de decisão para controle de tripes utilizando zonas de manejo no campo.

REFERÊNCIAS

ABIRI, R., RIZAN, N., BALASUNDRAM, S. K., SHAHBAZI, A. B., & ABDUL-HAMID, H. Application of digital technologies for ensuring agricultural productivity. **Heliyon**, v. 9, n. 12, p. e22601, 2023.

BAILEY, P. T. (Ed.). Pests of field crops and pastures: identification and control. 1. Ed. Collingwood: **CSIRO publishing**, 2007, p. 520.

BUENO, A. F.; PANIZZI, A. R.; HUNT, T. E.; DOURADO, P. M.; PITTA, R. M.; GONÇALVES, J. Challenges for adoption of integrated pest management (IPM): the soybean example. **Neotropical Entomology**, v. 50, p. 5-20, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13744-020-00792-9>

CABRAL, M. J. S.; HASEEB, M.; SOARES, M. A. Major Insect Pests of Sweet Potatoes in Brazil and the United States, with Information on Crop Production and Regulatory Pest Management. **Insects**, v. 15, n. 10, p. 823, 2024. <https://doi.org/10.3390/insects15100823>

HUSS, C. P.; HOLMES, K. D.; BLUBAUGH, C. K. Benefits and risks of intercropping for crop resilience and pest management. **Journal of economic entomology**, v. 115, n. 5, p. 1350- 1362, 2022. <https://doi.org/10.1093/jee/toac045>

JONES, R. W.; ILLESCAS-RIQUELME, C.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, V.; BAUTISTA-MARTÍNEZ, N.; O'BRIEN, C. W. Emergent and possible invasive pest species of weevils in Mexico. **Florida Entomologist**, v. 102, n. 3, p. 480-485, 2019. <https://doi.org/10.1653/024.102.0302>

LEHMANN, P.; AMMUNÉT, T.; BARTON, M.; BATTISTI, A.; EIGENBRODE, S. D.; JEPSEN, J. U.; KALINKAT, G.; NEUVONEN, S.; NIEMELÄ, P.; TERBLANCHE, J. S.; ØKLAND, B.; BJÖRKMAN, C. Complex responses of global insect pests to climate warming. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 18, n. 3, p. 141-150, 2020. <https://doi.org/10.1002/fee.2160>

NAWAZ, M.; CAI, W.; JING, Z.; ZHOU, X.; MABUBU, J. I.; HUA, H. Toxicity and sublethal effects of chlorantraniliprole on the development and fecundity of a non-specific predator, the multicolored Asian lady beetle, *Harmonia axyridis* (Pallas). **Chemosphere**, v. 178, p. 496-503, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.082>

O'NEAL, M. E.; JOHNSON, K. D. Insect pests of soybean and their management. In: SINGH, G. (Ed.) *The soybean: botany, production and uses*. Cambridge: **CAB International**, 2010. p. 300-324. <https://doi.org/10.1079/9781845936440.0300>

PAGANO, M. C.; MIRANSARI, M. The importance of soybean production worldwide. In: MIRANSARI, M. (Org.) *Abiotic and biotic stresses in soybean production*, 1 ed., Cambridge: **Academic Press**, 2016. P 1-26.

PIMENTEL, D.; PESHIN, R. Integrated pest management: pesticide problems, Vol. 3. New York: **Springer Dordrecht**, 2014, p. 474.

ROY, A.; KUMAR, S.; PYNE, S.; SAHA, P.; DAS, A. Precision agriculture: analysing the use of advanced technologies, data analytics and remote sensing for site-specific crop management and resource optimization. In: **Futuristic Trends in Agriculture Engineering & Food Sciences Volume 3 Book 23**, v. 3, Karnataka: IIP Series, 2024, p. 53-75. <https://www.doi.org/10.58532/V3BCAG23CH5>

SIDDALL, A.; HARVEY-SAMUEL, T.; CHAPMAN, T.; LEFTWICH, P. T. Manipulating insect sex determination pathways for genetic pest management: opportunities and challenges. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 10, p. 867851, 2022. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.867851>

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE
FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE. **Production - Soybeans**. 2024.
Disponível em: <<https://fas.usda.gov/data/production/commodity/2222000>>. Acesso em: 07/08/2024.

WITZGALL, P.; KIRSCH, P.; CORK, A. Sex pheromones and their impact on pest management. **Journal of chemical ecology**, v. 36, p. 80-100, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10886-009-9737-y>

CAPÍTULO I

MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS EMERGENTES DA SOJA NO BRASIL E NOS ESTADOS UNIDOS: UMA REVISÃO

RESUMO

A soja é uma das culturas mais importantes do mundo, e Brasil e Estados Unidos são os maiores produtores. Com o aumento das áreas cultivadas e mudanças no modo de produzir, algumas pragas que antes eram pouco importantes passaram a causar maiores problemas. Por isso, o Manejo Integrado de Pragas (MIP) tem ganhado destaque, já que ajuda a reduzir o uso de inseticidas, diminuir custos e tornar a produção mais sustentável. Este trabalho reúne o histórico do MIP nos dois países, explica seus principais métodos e apresenta três pragas emergentes que preocupam os produtores atualmente. A revisão mostrou que, no Brasil, o MIP evoluiu bastante desde a década de 1970, com a criação de métodos de amostragem, definição de níveis de dano e uso de controle biológico, como vírus e parasitoides. Porém, mudanças recentes, como a expansão da safrinha e o uso intenso de fungicidas, favoreceram o aumento de pragas secundárias e enfraqueceram o programa. Nos Estados Unidos, o MIP passou de simples monitoramento para estratégias mais completas, apoiadas por universidades e políticas públicas. Em ambos os países, a mosca-branca (*Bemisia tabaci*), os tripses (*Caliothrips* spp. e *Frankliniella* spp.) e o minador tentiforme da soja (*Macrosaccus morrisella*) surgem como pragas que exigem atenção crescente. Essas pragas podem causar danos de diferentes formas, como retirar a seiva das plantas, transmitir vírus ou destruir o tecido das folhas, reduzindo sua capacidade de produzir energia. Quando não são manejadas corretamente, podem gerar perdas significativas. Além disso, a resistência a inseticidas, especialmente em *B. tabaci* e nos tripses, torna o controle químico menos eficiente. Assim, fortalecer o MIP é essencial. O uso de cultivares resistentes, o aprimoramento do monitoramento, a preservação de inimigos naturais e o uso responsável de inseticidas são passos importantes para manter a produtividade e evitar novos problemas. Para pragas mais recentes, como *M. morrisella*, ainda são necessárias pesquisas que orientem o manejo adequado.

Palavras chave: Manejo Integrado de Pragas; Pragas emergentes; Mosca-branca; Tripses.

INTEGRATED MANAGEMENT OF EMERGING SOYBEAN PESTS IN BRAZIL AND THE UNITED STATES: A REVIEW

ABSTRACT

Soy is one of the most important crops worldwide, and Brazil and the United States are the leading producers. As cultivated areas expand and production practices change, some pests that were previously considered minor have become increasingly problematic. For this reason, Integrated Pest Management (IPM) has gained prominence, as it helps reduce insecticide use, lower production costs, and support more sustainable agriculture. This study reviews the history of IPM in both countries, explains its main strategies, and highlights three emerging pests that currently concern soybean growers. The review showed that, in Brazil, IPM has advanced significantly since the 1970s, with the development of sampling methods, the establishment of economic damage thresholds, and the incorporation of biological control tools such as viruses and parasitoids. However, recent changes, such as the expansion of the second crop system and the intensive use of fungicides, have contributed to an increase in secondary pests and weakened the effectiveness of the program. In the United States, IPM has evolved from simple monitoring to more comprehensive approaches supported by universities and public policy initiatives. In both countries, the whitefly (*Bemisia tabaci*), thrips (*Caliothrips* spp. and *Frankliniella* spp.), and the soybean tentiform leafminer (*Macrosaccus morrisella*) have emerged as pests requiring increasing attention. These pests cause damage in different ways, including sap feeding, virus transmission, and destruction of leaf tissues, which reduces the plant's photosynthetic capacity. When not properly managed, they can lead to significant yield losses. Additionally, insecticide resistance, especially in *B. tabaci* and thrips, has reduced the effectiveness of chemical control. Strengthening IPM is therefore essential. The use of resistant cultivars, improved monitoring strategies, conservation of natural enemies, and responsible insecticide use are key measures to maintain productivity and prevent new problems. For recently introduced pests such as *M. morrisella*, further research is still needed to guide appropriate management strategies.

Keywords: Integrated Pest Management; Emerging pests; Whitefly; Thrips.

3. INTRODUÇÃO

A cultura da soja é amplamente disseminada em grandes áreas ao redor do mundo, sendo essa cultura, por si só, responsável por suprir metade da demanda global por óleo vegetal e proteína (BORTOLOTTO et al., 2015). O Brasil é o maior produtor de soja do mundo, com 39% da produção global em 2024, seguido pelos Estados Unidos com 29% da produção (FAO, 2024; USDA, 2024). Assim, o cultivo da soja tem grande importância para a economia global (USDA, 2024). Com a expansão e intensificação da agricultura de soja associado ao melhoramento genético da soja e as alterações climáticas, novos problemas com insetos têm sido observados nesses campos, que são considerados pragas emergentes.

Os insetos são a classe mais diversa de organismos, com mais de um milhão de espécies identificadas e cerca de 10 milhões ainda por serem descobertas, no entanto, felizmente, apenas uma pequena parte (<1%) é considerada praga, e muitos são benéficos para a produção agrícola (O'NEAL E JOHNSON, 2010). Vários insetos-praga de diferentes ordens se alimentam da soja ao longo da estação. Essas ordens incluem diferentes grupos alimentares, como desfolhadores (Lepidoptera, Coleoptera, Orthoptera), sugadores de floema (Hemiptera) e pragas de sementes (Coleoptera, Diptera) (O'NEAL E JOHNSON, 2010). Ao se alimentar, esses insetos causam danos às plantas. Os danos resultam da alimentação de insetos em sementes, mudas, raízes e nódulos, caules, folhagem e estruturas de frutos; certas espécies fitófagas também proporcionam acesso a organismos causadores de doenças ou as transmitem diretamente às plantas (TURNIPSEED E KOGAN, 1976).

O manejo integrado de pragas (MIP) é uma estratégia essencial para garantir o controle eficiente de pragas, reduzir o uso excessivo de pesticidas e preservar o equilíbrio ambiental. Nos últimos anos, avanços nas tecnologias agrícolas, como a agricultura de precisão e a inteligência artificial, permitiram melhorias significativas no MIP. O MIP pode ser definido como a seleção, implementação e integração de métodos de controle de pragas com base em princípios ecológicos, econômicos e sociais (BOTIRELL, 1979). O MIP é utilizado para o manejo de diversas culturas, visando manter a sustentabilidade do agroecossistema, mantendo-o o mais próximo possível do equilíbrio biológico (pragas versus mortalidade natural) (BORTOLOTTO et al., 2015). As estratégias de MIP são cruciais para o manejo eficaz de pragas em plantações de soja (KOGAN E HEINRICHS, 2020).

Os insetos normalmente estão distribuídos de forma desigual por uma área natural,

mas recentemente, os métodos e a tecnologia analisar e mapear a distribuição espacial dos insetos foram desenvolvidos a um nível onde a distribuição desigual das populações de insetos pode ser considerada para a aplicação de estratégias de manejo de pragas (PARK et al., 2007). O manejo de pragas específico do local ou zonas de manejo de pragas é um componente da agricultura de precisão que faz uso de dados agronômicos espacialmente explícitos para implementar as práticas de controle de pragas em unidades homogêneas (talhões com características semelhantes) em vez de lavouras inteiras (MÉNDEZ-VÁZQUEZ et al., 2022). O uso de zonas de manejo de pragas contribui para uma agricultura mais sustentável, evitando o uso desnecessário de produtos químicos, e tornando possível para os produtores obterem maiores lucros (MÉNDEZ-VÁZQUEZ et al., 2019).

A fusão da agricultura de precisão com a inteligência artificial abre novos horizontes para o controle integrado de pragas. Ao combinar o monitoramento de pragas das plantações com modelos de previsão fundamentados em redes neurais, os agricultores podem tomar decisões mais bem fundamentadas e estratégicas (KUJAWA e NIEDBAŁA, 2021). No Brasil, mesmo com as restrições de infraestrutura e acesso à tecnologia, esses instrumentos têm demonstrado capacidade de trazer novas alternativas para o MIP da soja.

Outra parte importante do MIP é a correta identificação da praga e o entedimento de sua biologia. É crucial entender os variados estágios de desenvolvimento (ínstar) e a identificação do sexo para estabelecer estratégias de controle efetivas, particularmente no âmbito do MIP, onde o controle biológico e químico é ajustado de acordo com o ciclo de vida da praga (SIDDALL et al., 2022). É fundamental determinar essas informações com precisão para programar adequadamente a aplicação de inseticidas ou a liberação de agentes de controle biológico, como predadores e parasitoides, nos momentos apropriados (SIDDALL et al., 2022). Novas espécies se tornaram pragas como resultado do desenvolvimento e da intensificação da agricultura de soja, representando uma ameaça à produtividade das colheitas tanto no Brasil quanto nos Estados Unidos. Para enfrentar esses problemas, o manejo integrado de pragas, que combina controle químico, práticas culturais e controle biológico, provou ser uma técnica eficaz (BUENO et al., 2021). Técnicas sustentáveis, como rotação de culturas, monitoramento e a adoção de cultivares resistentes, estão sendo usadas para reduzir o impacto ambiental e prevenir a resistência química em pragas como tripes e mosca-branca. Embora essas pragas tenham sido gerenciadas de forma mais eficaz, novas ameaças, como o minador tentiforme da

soja nos Estados Unidos, necessitam de pesquisas adicionais para criar planos de manejo sustentável a fim de manter a sustentabilidade da produção de soja. Portanto, este trabalho tem como objetivo elucidar o manejo integrado de pragas emergentes da soja no Brasil e Estados Unidos.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Manejo integrado de pragas da soja no Brasil: um breve histórico

O MIP para a soja foi implementado pela primeira vez no Brasil no final da década de 1960 e início da década de 1970, à medida que a soja se tornava mais proeminente na região. Estudos regionais e um boletim com imagens coloridas de pragas e seus inimigos naturais contribuíram para a popularização dos conceitos de MIP (BUENO et al., 2021). Os produtores brasileiros de soja adotaram o MIP, o que levou a um uso mais adequado de inseticidas e à redução do uso de pesticidas para cerca de duas aplicações por safra após três a quatro anos (BORTOLOTTO et al., 2015).

As próximas grandes conquistas do MIP no Brasil foram: (1) De 1975 a 1978, foram realizados estudos extensivos sobre métodos de amostragem, índices de perda foliar e danos causados por percevejos sugadores em grãos, o que levou ao estabelecimento do método do pano-de-batida para monitoramento de pragas e dos níveis de ação para lagartas desfolhadoras e percevejos fitófagos (BUENO et al., 2012); (2) a descoberta de um vírus nuclear de poliedrose (AgNPV) naturalmente presente, chamado *Baculovirus anticarsia*, capaz de controlar a lagarta-da-soja, *Anticarsia gemmatalis* (Hübner), que era a principal praga da soja naquela época, causando desfolha significativa nas plantas (PANIZZI, 2013); (3) uma nova tática de controle utilizando parasitóides de ovos, micro-himenópteros (*Trissolcus basalis* Wollaston e *Telenomus podisi* Ashmead), para promover o controle biológico de percevejos (PANIZZI, 2013).

O atual sistema agrícola de safrinha no Brasil levou ao aumento das populações de pragas, e o uso de inseticidas convencionais tornou-se excessivo, pois pragas secundárias, como lagartas mastigadoras, ácaros, tripes e mosca-branca, também aumentaram em abundância (PANIZZI, 2013). O uso intensivo de fungicidas para o controle da ferrugem asiática da soja também enfraqueceu o papel dos inimigos naturais contra pragas da soja, levando ao abandono do programa de MIP no Brasil no final de 2010 (PANIZZI, 2013).

4.2 Manejo integrado de pragas da soja nos Estados Unidos: um breve histórico

O MIP foi inicialmente delineado como política nacional na década de 1970 (BUENO et al., 2021). Durante a expansão da produção de soja no sul dos EUA, entomologistas alertaram contra as práticas automáticas de aplicação de inseticidas devido à ausência de uma "praga-chave", à economia, à resistência a inseticidas, ao ressurgimento de pragas principais, ao surgimento de pragas secundárias e à contaminação ambiental (LINCOLN et al., 1975; BOETHEL, 2004). Eles desenvolveram um sistema de MIP, principalmente voltado para o sul dos EUA, que envolvia monitoramento sistemático, regras de decisão baseadas nos Níveis de Dano Econômico (NDEs) e conservação de inimigos naturais por meio de taxas mínimas de inseticidas (TURNIPSEED e KOGAN, 1994; BOETHEL, 2004). No norte dos EUA, o sistema de MIP foi modificado para focar na previsão de surtos de pragas infrequentes e reduzir a dependência do monitoramento (BOETHEL, 2004). Antes dos anos 2000, a pressão de pragas artrópodes na soja nos EUA era baixa, com menos de 1% da área cultivada tratada com inseticidas (BUENO et al., 2021). O manejo focava em surtos localizados de insetos desfolhadores (BUENO et al., 2021). Em 2000, menos de 0,1% da área de soja foi tratada para pragas artrópodes (BUENO et al., 2021). No entanto, a introdução do pulgão da soja, o avanço na tecnologia de tratamento de sementes com pesticidas e mudanças nas percepções dos agricultores e nas realidades agrônômicas levaram a uma mudança nas estratégias de MIP para muitas pragas artrópodes da soja (BUENO et al., 2021). Hoje, o governo federal institucionaliza e apoia o MIP nos níveis estadual, local e nacional por meio de iniciativas como compartilhamento de informações, programas de concessão de pesquisas e treinamento em MIP oferecido por escritórios de extensão (BUENO et al., 2021).

4.3 Estratégias de manejo integrado de pragas

O MIP é essencial para a agricultura sustentável, evitando o uso excessivo de pesticidas artificiais (BUENO et al., 2021). O MIP inclui não apenas a adoção de limiares econômicos para o uso racional de pesticidas, mas também a integração de várias abordagens de manejo de pragas, como culturas resistentes, controle biológico aumentativo e biotecnologia (KOGAN, 1998; BUENO et al., 2021). Embora cada uma dessas

abordagens possa oferecer um grau diferente de controle de pragas, suas combinações podem resultar em uma redução significativa nas perdas de produtividade (DARA, 2019; BUENO et al., 2021).

Encontrar uma estratégia de controle eficaz exige a reunião de diversas informações como: uma identificação precisa da praga, conhecimento de sua biologia e sua sazonalidade, sua distribuição espacial, conhecimento dos estágios de vida danosos e seus habitats, compreensão da natureza dos danos e sua importância econômica, compreensão de quão vulnerável cada estágio de vida é a uma ou mais opções de controle, preferência por hospedeiros e hospedeiros alternativos, previsibilidade da ocorrência da praga com base no ambiente, e outros fatores influentes, além de todas as informações relacionadas (DARA, 2019).

O MIP baseia-se em certos princípios, entre eles estão prevenção, monitoramento e identificação, níveis de limiar, táticas múltiplas de controle, sustentabilidade e segurança ambiental (JACK e ELLIS, 2021). O objetivo da prevenção é eliminar os ambientes que atraem pragas ou incentivam o crescimento de suas populações (PEDIGO, 1995; JACK e ELLIS, 2021). A prevenção eficaz e a redução da pressão de pragas dependem da diversificação temporal e espacial (BARZMAN et al., 2015). A rotação de culturas é o substituto agrônomo mais bem-sucedido para pesticidas sintéticos na produção orgânica de cultivos aráveis (BARZMAN et al., 2015). Uma das principais ferramentas para melhorar a resiliência dos sistemas de cultivo e agricultura em culturas anuais é a modificação da sequência de cultivos para interromper o ciclo de vida das pragas por meio da rotação de espécies de culturas de famílias diferentes. Nessa abordagem, as populações de pragas não podem ser selecionadas ou se acumular devido à diversidade da sequência de culturas (BARZMAN et al., 2015). O paradigma do MIP depende fortemente da pesquisa e da divulgação para detectar e prever problemas com pragas, criar medidas preventivas e curativas e distribuir o conhecimento de maneira eficiente, utilizando tanto técnicas de comunicação convencionais quanto contemporâneas (DARA, 2019).

O monitoramento é uma parte essencial do manejo integrado de pragas, pois as populações de pragas são dinâmicas e podem mudar significativamente em um curto período (BOTTRELL, 1979). Somente por meio do monitoramento é possível determinar se o controle é necessário e se o controle natural está sendo maximizado (BOTTRELL, 1979). O monitoramento da população de insetos geralmente envolve amostragens diretas para determinar seus números ou estimativas indiretas de densidades relativas derivadas de

um exame dos sintomas de danos (APPLE e SMITH, 1976). Outro aspecto importante do MIP é a identificação de pragas e inimigos naturais. O MIP depende fortemente da identificação precisa das pragas, porque a identificação incorreta pode resultar em tratamento desnecessário, desperdício de recursos e até mesmo danos ao sistema agrícola (JACK e ELLIS, 2021).

A base do MIP é a ideia de que as plantas cultivadas podem suportar níveis específicos de danos sem experimentar uma queda de produção economicamente significativa (HIGLEY e PETERSON, 1996; BORTOLOTTTO et al., 2015). De acordo com STERN et al. (1959), a menor população de pragas que pode prejudicar economicamente as plantas é conhecida como Nível de Dano Econômico (NDE). No entanto, a decisão de controlar ou não uma população de pragas deve sempre ser feita antes que a praga atinja o NDE (BORTOLOTTTO et al., 2015). Assim, o Nível de Controle (NC) foi estabelecido como o momento adequado para iniciar a estratégia de manejo e evitar que a população de pragas atinja o NDE (PEDIGO et al., 1986; BORTOLOTTTO et al., 2015). Com base nisso, o manejo de pragas só é justificado quando as pragas excedem esses limiares econômicos ou de dano (BUENO et al., 2021). O valor da produção, o custo e a eficácia das técnicas de manejo de pragas, e a propensão dessas espécies a prejudicar as plantas têm impacto no NDE (PEDIGO et al., 1986; PEREIRA et al., 2017; PICANÇO FILHO et al., 2024). A capacidade desses organismos de prejudicar as plantas e o custo do controle de pragas estão diretamente correlacionados com os NDEs, enquanto o valor da produção é negativamente correlacionado com eles (PEDIGO et al., 1986; PEREIRA et al., 2017; PICANÇO FILHO et al., 2024). O rendimento da safra e o preço do produto agrícola afetam o valor da produção. O preço dos insumos utilizados, a técnica de aplicação e a quantidade de aplicações afetam o custo do controle (PEDIGO et al., 1986; PICANÇO FILHO et al., 2024).

Uma parte fundamental dos programas de MIP é a tomada de decisões. Num contexto de MIP, a tomada de decisão depende de uma série de protocolos para decidir sobre a necessidade de alguma ação de gestão (controlar a praga ou não) baseada na avaliação do estado de uma população de pragas e dos seus inimigos naturais (BINNS e NYROP, 1992). O manejo de insetos-pragas exige que os agricultores tomem decisões sobre a variedade de culturas que serão plantadas, monitorem as pragas e se é ou não necessário ou quando aplicar inseticidas (DEAN et al., 2021). Estas decisões na maioria das vezes são tomadas com base nas espécies de pragas e no risco percebido de ocorrência

de um surto, e acabam por influenciar o rendimento e o lucro do agricultor (DEAN et al., 2021). Esses protocolos de decisão de controle, consistem em pelo menos dois componentes e pode incluir um terceiro: a amostragem da densidade da praga população, um limiar econômico (nível de dano econômico) e uma previsão fenológica da espécie cultivada (muitas vezes é necessário para determinar o momento apropriado para avaliar densidades populacionais) (BINNS e NYROP, 1992).

Os planos de amostragem são cruciais para as ferramentas de tomada de decisão no MIP (BINNS E NYROP, 1992; ARCANJO et al., 2024). O monitoramento das populações de pragas em um programa de MIP começa com um plano de amostragem tradicional (LOPES et al., 2019; SANTOS et al., 2021; ARCANJO et al., 2024). Uma unidade de amostragem, um método de amostragem da praga e a quantidade de amostras necessárias para avaliar a densidade ou o dano da praga, enquanto se mantém atenção à distribuição de frequência dos dados, são todos componentes necessários dessa estratégia de amostragem (LOPES et al., 2019; ARCANJO et al., 2024). Além disso, ela pode oferecer dados científicos para a criação e validação de aplicativos de smartphone e programas de amostragem sequencial. Para melhorar a usabilidade dos agricultores, uma boa estratégia de amostragem padronizada deve combinar precisão com tempo, custo e desempenho gerenciáveis (SANTOS et al., 2021; ARCANJO et al., 2024).

Para as pragas da soja, o MIP utiliza uma gama de técnicas de manejo com o objetivo duplo de minimizar os danos das pragas e reduzir a necessidade de pesticidas químicos.

A base dos sistemas de MIP é o controle biológico, que enfatiza o uso de inimigos naturais, como predadores e parasitoides, para suprimir as populações de pragas. De acordo com pesquisas, a manutenção de inimigos naturais pode melhorar significativamente o controle de pragas, como eliminar a necessidade de intervenções químicas, de pragas como percevejos nas plantações de soja (BUENO et al., 2013; ÁVILA et al., 2024). Além disso, como reduz a chance de retorno de insetos e o desenvolvimento de resistência causado pelo uso excessivo de pesticidas, integrar o controle biológico com outras técnicas pode resultar em práticas de manejo de pragas mais ambientalmente sustentáveis (OLIVEIRA et al., 2024).

Dentro do MIP, a resistência da planta hospedeira é outra técnica essencial. Sem o uso de controles químicos, o uso de cultivares de soja resistentes a algumas pragas específicas, como o pulgão da soja (*Aphis glycines*) e outras pragas lepidópteras, pode

reduzir significativamente os danos causados pelas pragas (CLIFTON et al., 2018). Estudos indicaram que a integração de genótipos resistentes na soja nas abordagens de manejo de pragas pode diminuir com sucesso as populações de pragas e minimizar o uso de inseticidas, reduzindo assim os efeitos negativos no meio ambiente (ONGARATTO et al., 2021). Além disso, a criação de cultivares de soja geneticamente modificadas (GM), como aquelas que expressam as proteínas Cry de *Bacillus thuringiensis* (Bt), demonstrou alta eficácia na supressão de pragas lepidópteras importantes. Isso reforça a importância da resistência da planta hospedeira no MIP (HORIKOSHI et al., 2021).

O controle químico ainda é uma parte crucial do manejo de pragas na soja, especialmente quando as populações de pragas ultrapassam os limites econômicos. No entanto, de acordo com a estratégia de MIP, os pesticidas devem ser usados com moderação e em conjunto com outras formas de controle (BORTOLOTTO et al., 2015). Além disso, a adoção de limiares econômicos otimiza os esforços de manejo de pragas e minimiza aplicações desnecessárias de pesticidas, ajudando os agricultores a tomarem decisões bem-informadas sobre quando aplicar os controles químicos (BUENO et al., 2013).

4.4 Pragas emergentes da soja no Brasil e nos Estados Unidos

Com a expansão e intensificação do cultivo de soja, novos problemas com insetos foram observados nessas culturas, sendo considerados pragas emergentes. Um grande número de espécies de pragas pode ocorrer ao longo do ciclo de cultivo, mas essas pragas anteriormente ocasionais ou secundárias podem atingir novos níveis de densidade populacional e, de repente, mudar seu status, elevando-as ao nível de pragas emergentes (JONES et al., 2019).

Os próximos parágrafos apresentam três importantes pragas emergentes, a mosca-branca, os tripses e o minador tentiforme da soja. Sendo os dois primeiros pragas emergentes do Brasil e Estados Unidos, e o último praga emergente apenas nos Estados Unidos, respectivamente.

A mosca-branca, *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae), representa uma ameaça significativa para as culturas de soja, causando danos diretos e indiretos através de sua alimentação. As moscas-brancas se alimentam da seiva das plantas, levando a distúrbios fisiológicos que podem afetar a fotossíntese e a saúde geral da planta, causando estresse e crescimento reduzido nas plantas de soja (SILVA et al., 2024). Níveis elevados

de infestação afetam os parâmetros de troca gasosa, diminuindo as taxas fotossintéticas e a eficiência do uso da água, especialmente em cultivares suscetíveis (TOLEDO et al., 2021). Indiretamente, podem causar danos ao atuarem como vetores de vírus, exacerbando as perdas das colheitas. As moscas-brancas transmitem begomovírus e crinivírus, levando a doenças virais severas que podem devastar os rendimentos da soja (SILVA et al., 2024). As infestações podem reduzir os rendimentos da soja em até 80%, podendo resultar em perda total da colheita se não forem controladas (ERDIANSYAH et al., 2023).

Os tripses são pequenos insetos que se alimentam de plantas. Eles são pragas da maioria das culturas agrícolas e hortícolas (RAJESH et al., 2023). Esses insetos habitam uma ampla variedade de habitats; no entanto, eles geralmente são encontrados em regiões tropicais, subtropicais e temperadas (ANANTHAKRISHNAN, 1993). No caso dos tripses fitófagos, seus danos às plantas podem ser diretos (sucção de seiva) ou indiretos (transmissão de vírus) (NEVES et al., 2022; SANTOS et al., 2021). Na soja, os tripses são pragas importantes em algumas áreas de produção e atacam preferencialmente as partes aéreas das plantas, como folhas, flores, ramos e frutos, causando perdas de produtividade (SANTOS et al., 2021; GENT et al., 2004). As principais espécies de tripses encontradas causando danos às plantas de soja pertencem aos gêneros *Caliothrips* e *Frankliniella* (GAMUNDI e PEROTTI, 2009; SANTOS et al., 2021).

Os insetos minadores de folhas são conhecidos por causarem lesões no tecido foliar de suas plantas hospedeiras, com as minas sendo causadas pelas larvas enquanto se alimentam protegidas dentro das folhas (KIRICHENKO et al., 2023; LIU et al., 2015). Três minadores de folhas nativos são conhecidos por se alimentarem de soja na América do Norte: *Odontota horni* (Smith), *O. dorsalis* (Thunberg) e *Sumitrosis rosea* (Weber) (Coleoptera: Chrysomelidae) (BUNTIN e PEDIGO, 1982; MCPHERSON e RAVLIN, 1983). No entanto, essas espécies raramente têm relevância econômica para a produção de soja (BUNTIN, 1994). Por outro lado, *Aproaerema modicella* (Deventer) (Lepidoptera: Gelechiidae) é uma praga séria da soja na África, Ásia e Austrália (BUTHELEZI et al., 2021; KOCH et al., 2021). Recentemente, um novo inseto minador de folhas foi documentado se alimentando de soja no Canadá e nos Estados Unidos, *Macrosaccus morrisella* (Fitch) (Lepidoptera: Gracillariidae), o minador tentiforme da soja (KOCH et al., 2021; RIBEIRO et al., 2024). O tecido foliar onde *M. morrisella* se alimenta eventualmente morre, o que reduz a área fotossintética da folha e pode potencialmente levar à redução do rendimento das plantas (RIBEIRO et al., 2024).

4.5 Manejo integrado da mosca-branca

Devido ao fato de que os pesticidas químicos historicamente desempenharam um papel importante no manejo da mosca-branca no Brasil, populações resistentes de *B. tabaci* MEAN1 surgiram (DÂNGELO et al., 2018). Além disso, a mosca-branca é uma praga altamente adaptável e resiste a quase todos os compostos químicos usados para seu controle, como organofosforados, carbamatos e piretróides, neonicotinóides e buprofezina (BASIT, 2019). *B. tabaci* também possui certo nível de resistência a espiromesifeno, pimetozina, fipronil, diafentiurom e espinosade (BASIT, 2019). Na ausência de pressão de seleção a resistência em *B. tabaci* é bastante instável, e é um fenômeno estabelecido a resistência cruzada dentro e entre grupos químicos (BASIT, 2019). A resistência a inseticidas foi relatada nos biótipos B e Q (HOROWITZ e ISHAAYA, 2014).

Por causa da transferência vascular das ninfas da mosca-branca dentro das plantas de soja, os inseticidas sistêmicos, como os neonicotinóides, mostraram-se eficientes no controle (POZEBON et al., 2019). Segundo pesquisas, vários genótipos de soja apresentam características de antixenose e antibiose que podem reduzir drasticamente o número de moscas-brancas e os danos causados por elas (SILVA et al., 2012). Além disso, foram desenvolvidas técnicas de amostragem e monitoramento para aprimorar a avaliação das populações de mosca-branca e orientar as decisões de manejo. Arcanjo et al. (2024) propuseram um plano de amostragem padronizado especificamente projetado para avaliar os adultos de *B. tabaci* em todas as fases do cultivo comercial de soja em áreas tropicais.

Como as moscas-brancas são menos comuns nos Estados Unidos do que no Brasil, a estratégia de manejo para as lavouras de soja lá é um pouco diferente. Nos Estados Unidos, o monitoramento, os limiares econômicos de tratamento e a aplicação de inseticidas seletivos que reduzem os danos aos insetos benéficos são frequentemente combinados como métodos de manejo (BUENO et al., 2013). Predadores e parasitoides são dois outros agentes de controle biológico utilizados, embora em menor grau do que no Brasil. Um enfoque semelhante é dado às variedades de soja resistentes, com pesquisas atuais visando cultivar e liberar cultivares resistentes às infestações por mosca-branca (SILVA et al., 2012).

4.6 Manejo integrado de tripes

Os tripses se tornaram pragas importantes nas lavouras de soja no Brasil (NEVES et al., 2022; SANTOS et al., 2024). A integração de aplicações químicas, controle biológico e práticas culturais é enfatizada no método de MIP brasileiro. A rotação de culturas e a eliminação de hospedeiros substitutos que possam sustentar as populações de tripses são exemplos de práticas culturais (SANTOS et al., 2024; BORTOLOTTI et al., 2015). Considerando que alguns genótipos apresentam menor vulnerabilidade a infestações de tripses, o uso de cultivares de soja resistentes também está sendo investigado (NEVES et al., 2022). No Brasil, o controle químico ainda é uma parte importante do manejo de tripses, especialmente quando as populações ultrapassam os critérios econômicos. Dependendo da extensão da infestação e do desenho dos campos, os inseticidas são administrados com moderação, frequentemente com o uso de tratores ou aplicações aéreas (NEVES et al., 2022). No entanto, uma dependência excessiva dos controles químicos gerou preocupações sobre o desenvolvimento de resistência nas populações de tripses, exigindo uma estratégia mais equilibrada que incorpore uma variedade de técnicas de manejo (KILASO, 2022).

O controle de tripses da soja nos Estados Unidos é caracterizado por um enfoque nos limiares econômicos e no monitoramento. Como as populações de tripses podem flutuar muito ao longo da temporada, o monitoramento é crucial (FUNDERBURK et al., 2016). As táticas de MIP nos Estados Unidos colocam forte ênfase no manejo biológico, assim como no Brasil. Estudos mostram que inimigos naturais podem reduzir efetivamente as populações de tripses (FUNDERBURK et al., 2016).

4.7 Manejo integrado do minador tentiforme da soja

Os relatos de ocorrência dessa espécie são registrados apenas nos Estados Unidos e Canadá, não havendo ocorrência dela no Brasil. Em relação à ecologia e ao manejo de *M. morrisella*, sabe-se relativamente pouco (Koch et al., 2021). No entanto, dois parasitoides, *Sympiesis marylandensis* Girault e *Pediobius albipes* (Provancher) (Eulophidae: Hymenoptera), são relatados como predadores dessa espécie (Koch et al., 2021). Por se tratar de uma praga recente na soja, com seu primeiro relato como possível praga em 2021 (Koch et al., 2021), ainda não existem limiares econômicos, planos de amostragem ou recomendações de controle para essa praga.

5. CONCLUSÃO

Em conclusão, novas espécies de pragas surgiram como resultado do desenvolvimento e intensificação da cultura da soja que acaba reduzindo o habitat natural das espécies e conseqüentemente a oferta de alimento, isso força essas espécies a buscar alimento na soja, representando uma ameaça ao rendimento das culturas tanto no Brasil como nos Estados Unidos. Para resolver estes problemas, o manejo integrado de pragas, que combina controle químico, práticas culturais e controle biológico, provou ser um método eficaz. Técnicas sustentáveis, incluindo rotação de culturas, monitoramento e adoção de cultivares resistentes, estão sendo utilizadas para reduzir o os danos ao meio ambiente e prevenir a resistência química para pragas como tripes e moscas brancas. Embora essas pragas tenham sido geridas de forma mais eficaz, novas ameaças, como *Macrosaccus morrisella*, necessitam pesquisa adicional para criar planos de manejo sustentável, a fim de manter a sustentabilidade da produção de soja.

REFERÊNCIAS

ANANTHAKRISHNAN, T. N. Bionomics of thrips. **Annual Review of Entomology**, v. 38, n. 1, p. 71-92, 1993.

APPLE, J. L.; SMITH, R. F. (Ed.) *Integrated pest management*. **New York**: Plenum Press, 1976.

ARCANJO, L. P.; PEREIRA, P. S.; SANTOS, J. L.; REIS, K. H. B., GUEDES, A. G., FREITAS, D. R., LIMA, M. S.; LOPES, M. C.; SARMENTO, R. A.; PICANÇO, M. C. The first standardized sampling plan designed to scout *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) adults in neotropical soybean crops. **Crop Protection**, v. 175, p. 106490, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106490>

ÁVILA, C. J.; VESSONI, I. C.; SILVA, I. F.; VIEIRA, E. C. S.; MARIANI, A.; MOREIRA, S. C. S. IPM in soybeans: how to reduce crop damage and increase profit for the farmer. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 11, n. 2, p. e8214, 2024. <https://doi.org/10.32404/rean.v11i2.8214>

BARZMAN, M.; BÀRBERI, P.; BIRCH, A. N. E.; BOONEKAMP, P.; DACHBRODT-SAAAYDEH, S.; GRAF, B.; HOMMEL, B.; JENSEN, J. E.; KISS, J.; KUDSK, P.; LAMICHHANE, J. R.; MESSÉAN, A.; MOONEN, A. C.; RATNADASS, A.; RICCI, P.; SARAH, J. L.; SATTIN, M. Eight principles of integrated pest management. **Agronomy for sustainable development**, v. 35, p. 1199-1215, 2015. [https://doi.org/10.1007/s13593-015-](https://doi.org/10.1007/s13593-015-015-)

BASIT, M. Status of insecticide resistance in *Bemisia tabaci*: resistance, cross-resistance, stability of resistance, genetics and fitness costs. **Phytoparasitica**, v. 47, n. 2, p. 207-225, 2019. <https://doi.org/10.1007/s12600-019-00722-5>

BINNS, M. R.; NYROP, J. P. Sampling insect populations for the purpose of IPM decision making. **Annual Review of Entomology**, v. 37, n. 1, p. 427-453, 1992. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.37.010192.002235>

BOETHEL, D. J. Integrated Management of Soybean Insects. In: SHIBLES, R. M.; HARPER, J. E.; WILSON, R. F.; SHOEMAKER, R. C. (Ed.). *Soybeans: Improvement, Production, and Uses*. 3. ed. v. 16. **Madison**: American Society of Agronomy, 2004. p. 853-882.

BORTOLOTTO, O. C.; POMARI-FERNANDES, A.; BUENO, R. C. O. F.; BUENO, A. F.; DA CRUZ, Y. K. S.; SANZOVO, A.; FERREIRA, R. B. The use of soybean integrated pest management in Brazil: a review. **Agronomy Science and Biotechnology**, v. 1, n. 1, p. 25-32, 2015. <https://doi.org/10.33158/ASB.2015v1i1p25>

BOTTRELL, D. G. *Integrated pest management*. 1 ed., **Washington**: Council on Environmental Quality, 1979, p. 979.

BUENO, A. F.; PANIZZI, A. R.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; SOSA-GOMEZ, D. R.; GAZZONI, D. L.; HIROSE, E.; MOS-CARDI, F.; CORSO,

I. C.; OLIVEIRA, L. J.; ROGGIA, S. Histórico e evolução do manejo integrado de pragas da soja no Brasil. In: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. (Eds.) *Soja: manejo integrado de insetos e outros Artrópodes-praga*. Brasília: Embrapa, 2012. p. 37-74.

BUENO, A. F.; PANIZZI, A. R.; HUNT, T. E.; DOURADO, P. M.; PITTA, R. M.; GONÇALVES, J. Challenges for adoption of integrated pest management (IPM): the soybean example. **Neotropical Entomology**, v. 50, p. 5-20, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13744-020-00792-9>

BUNTIN, G. D. Soybean leafminer. In: HIGLEY, L. G.; BOETHEL, D. J. (Ed.) *The handbook of soybean insect pests*. Lanham: The Entomological Society of America, 1994. p. 79-80.

BUNTIN, G. D.; PEDIGO, L. P. Foliage consumption and damage potential of *Odontota horni* and *Baliosus nervosus* (Coleoptera: Chrysomelidae) on soybean. **Journal of Economic Entomology**, v. 75, n. 6, p. 1034-1037, 1982. <https://doi.org/10.1093/jee/75.6.1034>

BUTHELEZI, M. N.; CONLONG, D. E.; ZHARARE, G. E. Review of the biosystematics and bio-ecology of the groundnut/soya bean leaf miner species (Lepidoptera: Gelechiidae). **Austral Entomology**, v. 60, n. 2, p. 276-284, 2021. <https://doi.org/10.1111/aen.12528>

CLIFTON, E. H.; TYLKA, G. L.; GASSMANN, A. J.; HODGSON, E. W. Interactions of effects of host plant resistance and seed treatments on soybean aphid (*Aphis glycines* Matsumura) and soybean cyst nematode (*Heterodera glycines* Ichinohe). **Pest Management Science**, v. 74, n. 4, p. 992-1000, 2018. <https://doi.org/10.1002/ps.4800>

DÂNGELO, R. A. C.; MICHEREFF-FILHO, M.; CAMPOS, M. R.; DA SILVA, P. S.; GUEDES, R. N. C. Insecticide resistance and control failure likelihood of the whitefly *Bemisia tabaci* (MEAM1; B biotype): a Neotropical scenario. **Annals of Applied Biology**, v. 172, n. 1, p. 88-99, 2018. <https://doi.org/10.1111/aab.12404>

DARA, S. K. The new integrated pest management paradigm for the modern age. **Journal of Integrated Pest Management**, v. 10, n. 1, p. 12, 2019. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmz010>

DEAN, A. N.; NIEMI, J. B.; TYNDALL, J. C.; HODGSON, E. W.; O'NEAL, M. E. Developing a decision-making framework for insect pest management: a case study using *Aphis glycines* (Hemiptera: Aphididae). **Pest Management Science**, v. 77, n. 2, p. 886-894, 2021. <https://doi.org/10.1002/ps.6093>

ERDIANSYAH, I.; SUWARDI, S.; WULANDARI, G. *Beauveria bassiana* untuk Pengendalian *Bemisia tabaci* pada Budidaya Kedelai Organik. **Agrotechnology Research Journal**, v. 7, n. 2, p. 79-84, 2023. <https://doi.org/10.20961/agrotechresj.v7i2.75969>

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Production / Crops and livestock products – Metadata. 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 07/01/2025.

FUNDERBURK, J.; FRANTZ, G.; MELLINGER, C.; TYLER-JULIAN, K.; SRIVASTAVA, M. Biotic resistance limits the invasiveness of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae), in Florida. **Insect science**, v. 23, n. 2, p. 175-182, 2016. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12250>

GAMUNDI, J. C.; PEROTTI, E. Evaluación de daño de *Frankliniella schultzei* (Trybom) y *Caliothrips phaseoli* (Hood) en diferentes estados fenológicos del cultivo de soja. **Para mejorar la producción**, v. 42, p. 107-111, 2009.

GENT, D. H.; SCHWARTZ, H. F.; KHOSLA, R. Distribution and incidence of Iris yellow spot virus in Colorado and its relation to onion plant population and yield. **Plant Disease**, v. 88, n. 5, p. 446-452, 2004. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.5.446>

HIGLEY, L. G.; PETERSON, R. K. D. The biological basis of the EIL. In: HIGLEY, L. G.; PEDIGO, L. P. (Eds.) **Economic thresholds for integrated pest management**. Nebraska: University of Nebraska Press, 1996. p. 22-40.

HORIKOSHI, R. J.; DOURADO, P. M.; BERGER, G. U.; FERNANDES, D. S.; OMOTO, C.; WILLSE, A.; MARTINELLI, S.; HEAD, G. P.; CORRÊA, A. S. Large-scale assessment of lepidopteran soybean pests and efficacy of Cry1Ac soybean in Brazil. **Scientific Reports**, v. 11, p. 15956, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95483-9>.

HOROWITZ, A. R.; ISHAAYA, I. Dynamics of biotypes B and Q of the whitefly *Bemisia tabaci* and its impact on insecticide resistance. **Pest management science**, v. 70, n. 10, p. 1568- 1572, 2014. <https://doi.org/10.1002/ps.3752>

JACK, C. J.; ELLIS, J. D. Integrated pest management control of *Varroa destructor* (Acari: Varroidae), the most damaging pest of (*Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae)) colonies. **Journal of Insect Science**, v. 21, n. 5, p. 6, 2021. <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieab058>

JONES, R. W.; ILLESCAS-RIQUELME, C.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, V.; AUTISTA-MARTÍNEZ, N.; O'BRIEN, C. W. Emergent and possible invasive pest species of weevils in Mexico. **Florida Entomologist**, v. 102, n. 3, p. 480-485, 2019. <https://doi.org/10.1653/024.102.0302>

KILASO, M. Toxicity for control of *Frankliniella schultzei* and *Selenothrips rubrocinctus* (Thysanoptera: Thripidae) of several common synthetic insecticides. **Florida Entomologist**, v. 105, n. 2, p. 155-159, 2022. <https://doi.org/10.1653/024.105.0208>

KOCH, R. L.; MOISAN-DE SERRES, J.; RIBEIRO, A. V. First Reports of *Macrosaccus morrisella* (Lepidoptera: Gracillariidae) Feeding on Soybean, *Glycine max* (Fabales: Fabaceae). **Journal of Integrated Pest Management**, v. 12, n. 1, p. 44, 2021. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmab038>

KOGAN, M. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. **Annual review of entomology**, v. 43, n. 1, p. 243-270, 1998. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.43.1.243>

KOGAN, M.; HEINRICHS, E. A. Integrated management of insect pests: current and future developments. **Cambridge**: Burleigh Dodds Science Publishing Limited, 2020.

KUJAWA, S.; NIEDBAŁA, G. Artificial neural networks in agriculture. **Agriculture**, v. 11, n. 6, p. 497, 2021. <https://doi.org/10.3390/agriculture11060497>

LINCOLN, C.; BOYER, W. P.; MINER, F. D. The Evolution of Insect Pest Management in Cotton and Soybeans: Past Experience, Present Status, and Future Outlook in Arkansas. **Environmental Entomology**, v. 4, n. 1, p. 1-7, 1975. <https://doi.org/10.1093/ee/4.1.1>

LOPES, M. C.; RIBEIRO, A. V.; COSTA, T. L.; ARCANJO, L. P.; FARIAS, E. S.; SANTOS, A. A.; RAMOS, R. S.; ARAÚJO, T. A.; PIKANÇO, M. C. Practical sampling plan for *Liriomyza huidobrensis* (Diptera: Agromyzidae) in tomato crops. **Journal of Economic Entomology**, v. 112, n. 4, p. 1946-1952, 2019. <https://doi.org/10.1093/jee/toz091>

MCPHERSON, R. M.; RAVLIN, F. W. Locust leaf miner development on soybean in Virginia. **Journal of the Georgia Entomological Society**, v. 18, n. 1, p. 58-60, 1983.

MÉNDEZ-VÁZQUEZ, L. J.; LASA-COVARRUBIAS, R.; CERDEIRA-ESTRADA, S.; LIRA-NORIEGA, A. Using simulated pest models and biological clustering validation to improve zoning methods in site-specific pest management. **Applied Sciences**, v. 12, n. 4, p. 1900, 2022. <https://doi.org/10.3390/app12041900>

MÉNDEZ-VÁZQUEZ, L. J.; LIRA-NORIEGA, A.; LASA-COVARRUBIAS, R.; CERDEIRA-ESTRADA, S. Delineation of site-specific management zones for pest control purposes: Exploring precision agriculture and species distribution modeling approaches. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 167, p. 105101, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105101>

NEVES, D. V. C.; LOPES, M. C.; SARMENTO, R. A.; PEREIRA, P. S.; PIRES, W. S.; PELUZIO, J. M.; PIKANÇO, M. C. Economic injury levels for control decision-making of thrips in soybean crops (*Glycine max* (L.) Merrill). **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. e52411932114, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.32114>

OLIVEIRA, R. C. D.; IKUNO, P. H. P.; PRATISSOLI, D.; CARVALHO, J. R. D.; HOBACK, W. W.; SALAMINA, B. A. Z. Biological characteristics and thermal requirements of *Telenomus podisi* and *Trissolcus basalus* (Hymenoptera: Scelionidae) in fresh and cryopreserved eggs of *Euschistus heros* and *Nezara viridula* (Hemiptera: Pentatomidae). **Agronomy**, v. 14, n. 1, p. 170, 2024. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010170>

O'NEAL, M. E.; JOHNSON, K. D. Insect pests of soybean and their management. In: SINGH, G. (Ed.) **The soybean: botany, production and uses**. Cambridge: CAB International, 2010. p. 300-324. <https://doi.org/10.1079/9781845936440.0300>

ONGARATTO, S.; SILVEIRA, C. M.; SANTOS, M. C.; GORRI, J. E. R.; SARTORI, M. M. P.; HUNT, T. E.; LOURENÇÃO, A. L.; BALDIN, E. L. L. Resistance of soybean genotypes to *Anticarsia gemmatilis* (Lepidoptera: Erebidiae): Antixenosis and antibiosis

characterization. **Journal of Economic Entomology**, v. 114, n. 6, p. 2571-2580, 2021. <https://doi.org/10.1093/jee/toab197>

PANIZZI, A. R. History and contemporary perspectives of the integrated pest management of soybean in Brazil. **Neotropical entomology**, v. 42, n. 2, p. 119-127, 2013. <https://doi.org/10.1007/s13744-013-0111-y>

PARK, Y.; KRELL, R.K.; CARROLL, M. Theory, technology, and practice of site-specific insect pest management. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 10, n. 2, p. 89-101, 2007.

PEDIGO, L. P. Closing the gap between IPM theory and practice. **Journal of Agricultural Entomology**, v. 12, n. 4, p. 171-181, 1995.

PEDIGO, L. P.; HUTCHINS, S. H.; HIGLEY, L. G. Economic injury levels in theory and practice. **Annual Review of Entomology**, v. 31, p. 341-368, 1986.

PEREIRA, P. S.; SARMENTO, R. A.; GALDINO, T. V. S.; LIMA, C. H. O.; DOS SANTOS, F. A.; SILVA, J.; DOS SANTOS, G. R.; PICANÇO, M. C. Economic injury levels and sequential sampling plans for *Frankliniella schultzei* in watermelon crops. **Pest Management Science**, v. 73, n. 7, p. 1438-1445, 2017. <https://doi.org/10.1002/ps.4475>

PICANÇO FILHO, M. C.; LIMA, E.; CARMO, D. G.; PALLINI, A.; WALERIUS, A. H.; DA SILVA, R. S.; SANT'ANA, L. C. S.; LOPES, P. H. Q.; PICANÇO, M. C. Economic Injury Levels and Economic Thresholds for *Leucoptera coffeella* as a Function of Insecticide Application Technology in Organic and Conventional Coffee (*Coffea arabica*), Farms. **Plants**, v. 13, n. 5, p. 585, 2024. <https://doi.org/10.3390/plants13050585>

POZEBON, H.; CARGNELUTTI FILHO, A.; GUEDES, J. V. C.; FERREIRA, D. R.; MARQUES, R. P.; BEVILAQUA, J. G.; PATIAS, L. S.; COLPO, T. L.; ARNEMANN, J. A. Distribution of *Bemisia tabaci* within soybean plants and on individual leaflets. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 167, n. 5, p. 396-405, 2019. <https://doi.org/10.1111/eea.12798>

RIBEIRO, A. V.; MENGER, J. P.; FÜHR, F. M.; KOCH, R. L. Immature development and adult longevity of the soybean tentiform leafminer (Lepidoptera: Gracillariidae). **Environmental Entomology**, v. 53, n. 4, p. 723-729, 2024. <https://doi.org/10.1093/ee/nvae059>.

SANTOS, J. L.; PEREIRA, P. S.; REIS, K. H. B.; FREITAS, D. R.; PICANÇO FILHO, M. C.; PELUZIO, J. M.; SARMENTO, R. A.; GUEDES, R. N. C.; PICANÇO, M. C. Decision-making for thrips control in soybean fields using precision agriculture principles. **Journal of Applied Entomology**, v. 148, n. 2, p. 140-149, 2024. <https://doi.org/10.1111/jen.13215>

SANTOS, R. C.; LOPES, M. C.; SARMENTO, R. A.; PEREIRA, P. S.; PICANÇO, M. M.; PIRES, W. S.; NOLETO, L. R.; ARAÚJO, T. A.; PICANÇO, M. C. Conventional sampling plan for thrips in tropical soybean fields. **Crop Protection**, v. 148, n. 1, p. 105740, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105740>

SIDDALL, A.; HARVEY-SAMUEL, T.; CHAPMAN, T.; LEFTWICH, P. T.

Manipulating insect sex determination pathways for genetic pest management: opportunities and challenges. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 10, p. 867851, 2022. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.867851>

SILVA, J. P. G. F.; BALDIN, E. L. L.; SOUZA, E. S.; LOURENÇÃO, A. L. Assessing *Bemisia tabaci* (Genn.) biotype B resistance in soybean genotypes: antixenosis and antibiosis. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 72, n. 4, p. 516, 2012.

SILVA, L. B.; ALMEIDA, L. C.; SILVA, M. C. F.; BRITO, R. R.; MIRANDA, R. S.; RODRIGUES, R. H. F.; SANTOS, C. M. P.; RIBEIRO, G. S.; MORAIS, J. V. S.; SILVA, A. F. T.; MAYARD, H.; OLIVEIRA, T. R.; LIMA, V. M. G. C.; FONTES, L. S.; ROCHA, N. S.; LACERDA, J. J.; PAVAN, B. E. Change in the Physiological Aspects of Soybean Caused by Infestation by *Bemisia tabaci* MEAM1. **Agronomy**, v. 14, n. 3, p. 481, 2024. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030481>

STERN, V. M.; SMITH, R. F.; VAN DEN BOSCH, R.; HAGEN, K. S. The integration of chemical and biological control of the spotted alfalfa aphid: The integrated control concept. **Hilgardia**, v. 29, n.2, p. 81-101, 1959. <https://doi.org/10.3733/hilg.v29n02p081>

TOLEDO, C. A. L.; PONCE, F. S.; OLIVEIRA, M. D.; AIRES, E. S.; SEABRA JÚNIOR, S.; LIMA, G. P. P.; OLIVEIRA, R. C. Change in the physiological and biochemical aspects of tomato caused by infestation by cryptic species of *Bemisia tabaci* MED and MEAM1. **Insects**, v. 12, n. 12, p. 1105, 2021. <https://doi.org/10.3390/insects12121105>

TURNIPSEED, S. G.; KOGAN, M. Principles and history of soybean pest management. In: HIGLEY, L. G.; BOETHEL, D. J. (Ed.) **Handbook of soybean insect pests**. Lanham: Entomological Society of America, 1994. p. 109-110.

TURNIPSEED, S. G.; KOGAN, M. Soybean entomology. **Annual Review of Entomology**, v. 21, n. 1, p. 247-282, 1976.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE
FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE. **Production - Soybeans**. 2024.
Disponível em: <https://fas.usda.gov/data/production/commodity/2222000>. Acesso em: 07/08/2024.

CAPÍTULO II

DETERMINAÇÃO DE ÍNSTAR E SEXO PARA *Macrosaccus morrisella* (LEPIDOPTERA: GRACILLARIIDAE)

RESUMO

O minador tentiforme da soja, *Macrosaccus morrisella* (Fitch) (Lepidoptera: Gracillariidae), é uma nova praga potencial da soja; no entanto, pouco se sabe sobre sua biologia. Este estudo teve como objetivo determinar o número de ínstars, como distinguir esses ínstars e identificar um método simples para a diferenciação de sexo em *M. morrisella*. Plantas de soja ovipositadas por *M. morrisella* no laboratório foram amostradas diariamente para avaliar o desenvolvimento dos insetos, medindo a largura da cápsula cefálica das larvas, o comprimento corporal e a área foliar minada. Gaiolas contendo um subconjunto de plantas foram verificadas diariamente até a primeira emergência de adultos. Além disso, 20 pupas e os adultos resultantes foram sexados. A distribuição de frequência das larguras das cápsulas cefálicas das larvas de *M. morrisella* mostrou quatro picos não sobrepostos. No entanto, o exame dos indivíduos que compunham o terceiro pico revelou duas morfologias distintas de peças bucais, correspondendo a um 3º instar alimentador de seiva e um 4º instar alimentador de tecido, com distribuições sobrepostas das larguras das cápsulas cefálicas. A inspeção das minas tentiformes contendo larvas individuais revelou a presença de até quatro cápsulas cefálicas, confirmando a existência de cinco ínstars. A área foliar minada variou de 0,28 a 498,45 mm² por larva. As pupas de *M. morrisella* foram diferenciadas sexualmente pela observação da presença de gônadas através da cutícula nos machos e sua ausência nas fêmeas, o que foi confirmado pela dissecação dos adultos resultantes. Este estudo preenche uma lacuna importante em nossa compreensão da biologia de *M. morrisella*, o que é crucial para o desenvolvimento de estratégias de manejo integrado para essa praga emergente da soja na América do Norte.

Palavras-Chave: Minador tentiforme da soja; Largura da cápsula cefálica; Estágio de desenvolvimento.

**DETERMINATION OF INSTAR AND SEX FOR *Macrosaccus morrisella*
(LEPIDOPTERA: GRACILLARIIDAE)**

ABSTRACT

The soybean tentiform leafminer, *Macrosaccus morrisella* (Fitch) (Lepidoptera: Gracillariidae), is a newly recognized potential soybean pest; however, little is known about its biology. This study aimed to determine the number of instars, describe how to distinguish them, and identify a simple method for sex differentiation in *M. morrisella*. Soybean plants oviposited by *M. morrisella* in the laboratory were sampled daily to assess insect development by measuring larval head capsule width, body length, and mined leaf area. Cages containing a subset of plants were monitored daily until the first adult emergence. In addition, 20 pupae and their resulting adults were sexed. The frequency distribution of head capsule widths in *M. morrisella* larvae showed four non-overlapping peaks. However, examination of individuals within the third peak revealed two distinct mouthpart morphologies, corresponding to a third sap-feeding instar and a fourth tissue-feeding instar, which displayed overlapping head capsule width distributions. Inspection of tentiform mines containing individual larvae revealed the presence of up to four retained head capsules, confirming the existence of five instars. Mined leaf area ranged from 0.28 to 498.45 mm² per larva. Pupae of *M. morrisella* were sexed by observing the presence of visible gonads through the cuticle in males and their absence in females, which was confirmed by dissection of the resulting adults. This study fills an important gap in our understanding of *M. morrisella* biology, which is crucial for developing integrated pest management strategies for this emerging soybean pest in North America.

Keywords: Soybean tentiform leafminer; Head capsule width; Developmental stage.

6. INTRODUÇÃO

O minador tentiforme da soja, *Macrosaccus morrisella* (Fitch) (Lepidoptera: Gracillariidae), é uma pequena mariposa recentemente encontrada alimentando-se de soja, *Glycine max* (L.) Merr. (Fabales: Fabaceae) (KOCH et al., 2021). Insetos minadores de folhas são conhecidos pelos danos (ou seja, minas) causados pelas larvas ao tecido foliar de suas plantas hospedeiras, enquanto se alimentam protegidos dentro das folhas (LIU et al., 2015; KIRICHENKO et al., 2023). A soja é uma das culturas mais importantes do mundo devido à sua versatilidade e aplicações em diferentes indústrias (LIU, 2016). Os Estados Unidos são um dos maiores produtores e exportadores de soja globalmente, responsáveis por 113,34 milhões de toneladas métricas em 2023 (USDA, 2024). O dano potencial de *M. morrisella* à soja ainda é desconhecido, mas a alimentação desse inseto pode representar uma ameaça à produção de soja, especialmente em combinação com outras pragas.

Os Gracillariidae são um grupo diverso de mariposas minadoras de folhas, conhecidas por seus hábitos alimentares em várias plantas lenhosas e herbáceas (LOPEZ-VAAMONDE et al., 2021; KIRICHENKO et al., 2023). *Macrosaccus* é um pequeno gênero de mariposas da família Gracillariidae, cujas larvas formam minas tentiformes (minas protuberantes que se curvam para cima, como uma tenda, à medida que o tecido danificado da folha seca) em plantas da família Fabaceae (DAVIS e DE PRINS, 2011; EISEMAN e DAVIS, 2017). *Macrosaccus morrisella* é nativa da América do Norte e é conhecida por se alimentar de *Amphicarpaea bracteata* (L.) Fernald (Fabales: Fabaceae) e *Strophostyles leiosperma* (Torr. & A. Gray) Piper (Fabales: Fabaceae) (DAVIS e DE PRINS, 2011; KOCH et al. 2021). Presume-se que o número de ínstars de *M. morrisella* seja semelhante ao de uma espécie relacionada, *Macrosaccus robiniella* (Clemens) (DAVIS e DE PRINS, 2011), mas isso ainda precisa ser verificado.

O conhecimento do número de ínstars e de como identificar cada ínstar é fundamental para diversos estudos de laboratório e de campo sobre a ecologia e biologia dos insetos (DALY, 1985; STOREY-PALMA et al. 2012). Diferentes técnicas foram propostas para estimar o estágio de crescimento larval (ou seja, ínstar) ou idade (DALY, 1985; WU et al. 2013). O método mais direto para determinar o número de ínstars de um inseto é observar as larvas durante a muda e identificar suas características morfológicas, mas isso só é adequado para insetos com diferenças morfológicas significativas entre os ínstars e apenas para insetos visíveis externamente nas plantas (WANG et al., 2022). Medir a largura da

cápsula cefálica é frequentemente utilizado para a determinação dos ínstaes em espécies de Lepidoptera (DALY, 1985; CALVO e MOLINA, 2008; STOREY-PALMA et al., 2012). O método mais utilizado baseia-se na regra de Dyar, que assume que a cápsula cefálica dos ínstaes sucessivos cresce em progressão geométrica a uma razão constante (DYAR e RHINEBECK, 1890; WU et al., 2013; CARMO et al., 2020). Outro método amplamente usado baseia-se nas distribuições de frequência da largura da cápsula cefálica (LI et al., 2020). Este método geralmente assume uma distribuição normal da largura da cápsula cefálica em cada ínstar, com os picos resultantes das curvas multimodais representando cada ínstar, dependendo do grau de sobreposição das medidas entre os ínstaes (MORALES-RAMOS et al., 2015; CARMO et al., 2020).

Entender a biologia básica de pragas é essencial para o desenvolvimento de programas de manejo eficientes. A capacidade de distinguir fêmeas de machos é significativa não apenas durante a criação em laboratório e o desenvolvimento da tecnologia de insetos estéreis, mas também em pesquisas sobre controle biológico, eficácia de pesticidas e resposta a semioquímicos (POSADA et al., 2011). O sexo em alguns Lepidoptera adultos pode ser determinado pela cor, forma do corpo, tamanho ou forma do abdômen, formato e comprimento das antenas, padrão das asas, pelos ou esporas nas pernas (POSADA et al., 2011). Na família Gracillariidae, há relativamente pouca informação sobre as características que separam pupas e adultos fêmeas e machos (POSADA et al., 2011).

O desenvolvimento de programas de manejo para *M. morrisella* está em andamento, mas uma melhor compreensão da biologia dessa praga pode acelerar esse processo. Assim, este estudo foi desenvolvido com o objetivo de determinar o número de ínstaes, distinguir esses ínstaes, e identificar um método simples para a diferenciação sexual de *M. morrisella*.

7. MATERIAL E MÉTODOS

7.1 Insetos

Os adultos de *M. morrisella* foram obtidos de uma criação de laboratório mantida na Universidade de Minnesota (MENGER et al., 2024). Adultos recém-emergidos de *M. morrisella*, com menos de 24 horas de idade foram coletados com um aspirador mecânico (Clarke Mosquito Control, #13500, St. Charles, Illinois, Estados Unidos) e liberados dentro de uma gaiola de malha fina de 40×40×60 cm (Rest Cloud®, Guangzhou, Guangdong, China)

para o acasalamento. Mel foi fornecido como fonte de alimento, e os adultos foram mantidos para acasalamento por 72 horas.

Sementes de soja (variedade 'Sheyenne') foram semeadas em um substrato de germinação (Jolly Gardener Pro-Line C/GP, Poland, Maine, Estados Unidos) em vasos quadrados de 8,9×8,9×8,9 cm (350 SVD, T.O. Plastics, Ostego, Minnesota, Estados Unidos), e mantidas em uma câmara de crescimento ambiental (Percival, Chagrin Falls, Ohio, Estados Unidos) a 25 ± 0.5 ($\pm EP$) °C, com aproximadamente 70% de umidade relativa e 16 horas de fotofase. Trinta vasos contendo duas plantas de soja cada (ou seja, 60 plantas de soja no total) foram colocados em uma gaiola de malha maior (61×61×91,5 cm, Rest Cloud®, Guangzhou, Guangdong, China) quando as plantas tinham duas folhas trifoliadas totalmente expandidas (estágio de crescimento V2, FEHR e CAVINESS (1977)). Esta gaiola foi infestada com aproximadamente 535 adultos acasalados de *M. morrisella* da gaiola descrita no parágrafo anterior. Foi fornecido mel aos adultos, que puderam ovipositar nas plantas envasadas por 24 horas. Após a oviposição, as plantas de soja contendo ovos frescos de *M. morrisella* foram removidas da gaiola, cuidadosamente inspecionadas para remover todos os adultos e, em seguida, colocadas em outras três gaiolas (10 plantas por gaiola) sem adultos para o desenvolvimento da progênie de *M. morrisella*. As etapas mencionadas acima foram realizadas em uma câmara com temperatura de $24,1\pm 2$ °C, 65% de umidade relativa e 16 horas de fotofase.

7.2 Determinação dos estágios de desenvolvimento dos imaturos

As plantas de soja infestadas com *M. morrisella* foram verificadas diariamente quanto à eclosão dos ovos com o auxílio de um microscópio estereoscópico. A cada dia, após a eclosão inicial, um vaso de soja era selecionado aleatoriamente para avaliação do desenvolvimento de *M. morrisella*, 20 minas eram dissecadas, e as plantas eram descartadas posteriormente. As avaliações continuaram por 18 dias, até que todas as larvas tivessem se transformado em pupas. Em cada dia de avaliação, folíolos de soja contendo minas de *M. morrisella* eram removidos das duas plantas, e vinte dessas minas eram selecionadas aleatoriamente para imagem e dissecação. As minas do tipo serpentina e redondas eram inicialmente fotografadas e, em seguida, dissecadas. As imagens foram capturadas usando um Microscópio Estéreo Digital Leica S9i (Leica Microsystems, Heerbrugg, Suíça) conectado a um computador para estimar a área de cada mina com o software ImageJ

(SCHNEIDER et al., 2012). A área foliar minada foi medida utilizando a ferramenta de desenho à mão livre do ImageJ ajustada à escala da imagem. Essas minas eram então dissecadas com a utilização de alfinetes entomológicos (tamanho #1) para acessar as larvas.

Em contraste, as minas tentiformes eram primeiro dissecadas (como descrito acima) e depois fotografadas para que o tecido foliar minado pudesse ser achatado e a área foliar minada pudesse ser avaliada com o processo de imagem descrito acima. Durante as dissecações, cada larva era removida das minas com um pincel de cerdas macias e colocada em uma placa de Petri com papel de filtro umedecido com álcool 70%. Após a morte das larvas (aproximadamente 5 minutos), as fotos eram tiradas utilizando os mesmos métodos descritos para a captura das imagens das minas (ou seja, microscópio conectado a um computador), e as medições das larvas eram obtidas com o software Leica Application Suite X (LAS X) usando a ferramenta de linha de distância. A largura da cápsula cefálica era medida entre as duas bordas laterais mais distantes de cada cápsula (HERNÁNDEZ-LIVERA et al., 2005). Além disso, o comprimento do corpo era medido da ponta das peças bucais até o final do abdômen.

Utilizando o método descrito por SHANOWER et al. (1993) e SALEM et al. (2021) para sexar pupas de Gelechiidae (Lepidoptera), vinte pupas foram sexadas observando-se a presença das gônadas através da cutícula nos machos e sua ausência nas fêmeas. As pupas sexadas foram mantidas individualmente em placas de Petri até a emergência dos adultos, que foram novamente sexados por inspeção do frênuo para confirmação do sexo. Doze vasos foram mantidos, e as plantas foram verificadas diariamente até a emergência dos primeiros adultos.

7.3 Análises estatísticas

O número de ínstaes larvais foi determinado a partir da distribuição de frequência das larguras das cápsulas cefálicas de 356 larvas e confirmado pela contagem do número de mudas de cápsula cefálica dentro das minas. Uma análise de variância unidirecional seguida pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) foi realizada para comparar a largura da cápsula cefálica, o comprimento do corpo e a área foliar minada entre os ínstaes de *M. morrisella*. Minas de múltiplas larvas de *M. morrisella* na mesma folha podem se fundir (DAVIS e DE PRINS, 2011; KOCH et al., 2021), portanto, minas contendo mais de uma larva foram consideradas fundidas.

Testes T de duas amostras foram realizados para comparar o comprimento do corpo entre machos e fêmeas nas fases de pupa e adultos. As análises estatísticas foram realizadas com o RStudio versão 2023.12.1.402 (RStudio, Boston, EUA) com o R versão 4.3.3 (R CORE TEAM, 2024). As Figuras foram feitas com o pacote ggplot2 (WICKHAM, 2016) ou com o software SigmaPlot versão 14.0 (Systat Software Inc., San Jose, Califórnia, EUA). A razão de crescimento de cada ínstar foi calculada de acordo com a razão de Dyar (ou seja, a razão entre a largura média da cabeça de cada ínstar e a do ínstar anterior) (DYAR e RHINEBECK, 1890).

8. RESULTADOS

A distribuição de frequência das larguras das cápsulas cefálicas das larvas de *M. morrisella* mostrou quatro picos não sobrepostos (Figura 1). No entanto, a análise das cápsulas cefálicas revelou duas morfologias distintas das peças bucais, conforme descrito por Davis e De Prins (2011), com a morfologia de alimentação por seiva ocorrendo nos 1º, 2º e 3º picos, e as morfologias de alimentação de tecido ocorrendo nos 3º e 4º picos (Figura 3). Portanto, os 1º e 2º picos representam os 1º e 2º estádios de larvas de alimentação por seiva. O 3º pico representa o 3º estágio de larva de alimentação por seiva e o 4º estágio de larva de alimentação de tecido, com distribuições sobrepostas de tamanhos de cápsula cefálica. O 4º pico representa o 5º estágio de larva de alimentação de tecido. A inspeção de minas tentiformes contendo larvas individuais revelou a presença de até quatro cápsulas cefálicas (Figura 2), confirmando a existência de cinco estádios.

Figura 1. Distribuição de frequência da largura da cápsula cefálica das larvas de *Macrosaccus morrisella*. As medições diárias foram obtidas de um subconjunto de plantas de uma coorte ovipositada no mesmo dia. Esse subconjunto de plantas foi submetido a amostragem destrutiva a cada dia subsequente.

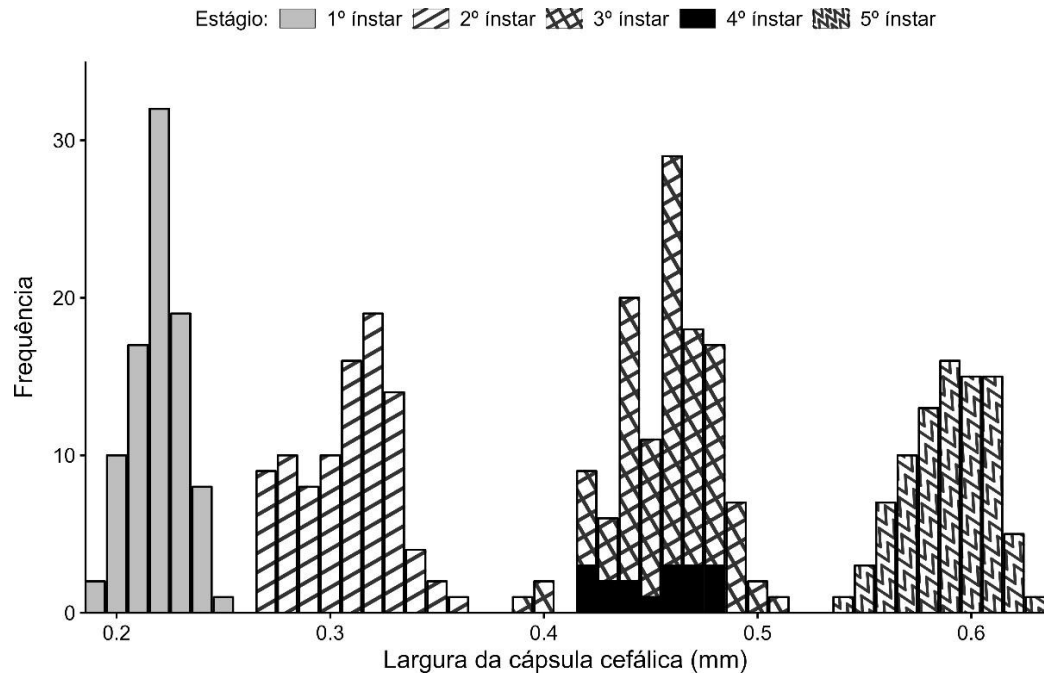
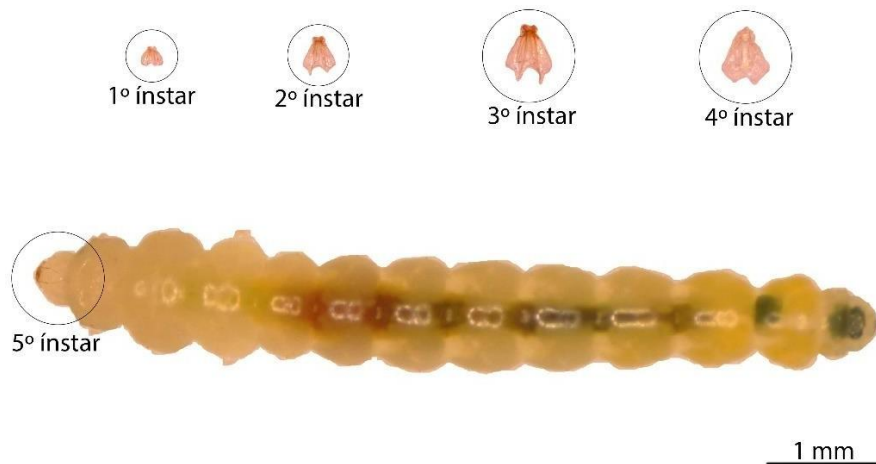


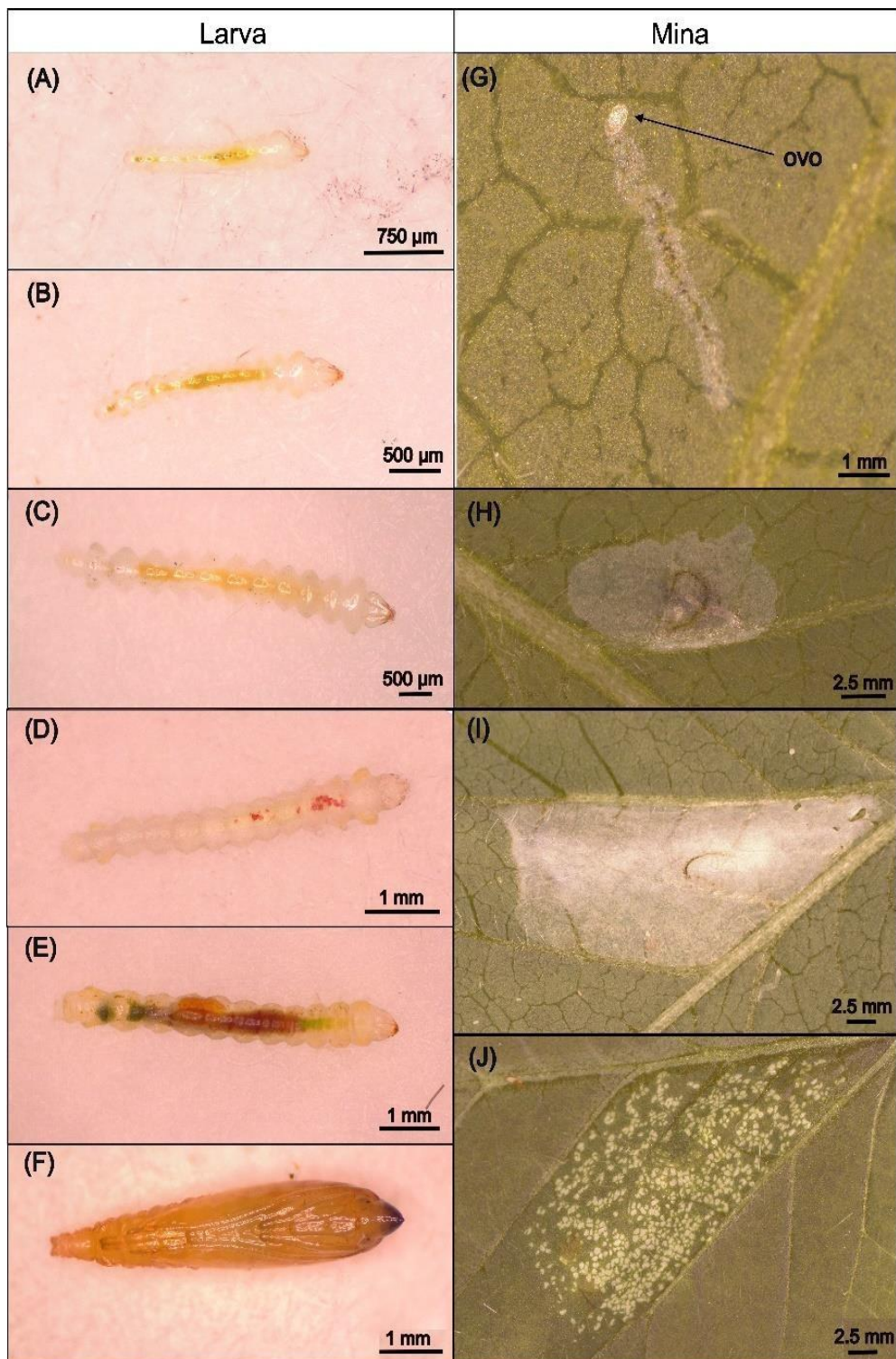
Figura 2. Larva de 5º instar de *Macrosaccus morrisella* com cápsulas cefálicas de seus estádios anteriores (indicadas em círculos), obtidas de uma única mina tentiforme contendo apenas uma larva.



Fonte: Autora, 2024.

A Figura 3 mostra os estágios imaturos de *Macrosaccus morrisella*, desde o ovo até a pupa, e os respectivos tipos de minas associados às larvas e pupas. Para as larvas que ocorrem em minas individuais (ou seja, 1 larva por mina), foram observadas larvas de 1º e 2º estádios em minas do tipo serpentina, larvas de 3º estágio em minas do tipo redonda, e larvas de 4º e 5º estádios e pupas em minas tentiformes (formato de tenda) (Figura 3). Para as larvas que ocorrem em minas mescladas (ou seja, 2 ou mais larvas por mina), foram observadas larvas de 2º estágio em minas do tipo serpentina, redondas ou tentiformes, larvas de 3º estágio em minas do tipo redonda ou tentiformes, e larvas de 4º ou 5º estádios em minas tentiformes. Minas mescladas foram observadas para os 2º (3,66%), 3º (28,09%), 4º (62,5%) e 5º (42,5%) estádios, mas não para o 1º estágio. Foram observadas até seis larvas por mina dentro das minas mescladas.

Figura 3. Larvas de primeiro (A) e segundo (B) estádios de *M. morrisella* observadas em minas do tipo serpentina (G), larva de terceiro estágio de *M. morrisella* (C) observada em minas do tipo redonda (H), e larvas de quarto (D) e quinto (E) estádios, além de pupa (F) de *M. morrisella* observadas em minas tentiformes, com vistas abaxial (inferior) (J) e adaxial (superior) (I) das minas tentiformes.



Fonte: Autora, 2024.

A largura da cápsula cefálica das larvas variou de 0,19 a 0,63 mm (Tabela 1). A largura da cápsula cefálica aumentou do 1º ao 5º estágio e diferiu significativamente entre todos os estádios ($F = 4615,0$; $gl = 389$; $P < 0,001$), exceto entre os 3º e 4º estádios (Tabela 1). O comprimento do corpo das larvas variou de 0,67 a 9,79 mm (Tabela 1). O comprimento do corpo aumentou do 1º ao 5º estágio e diferiu significativamente entre todos os estádios ($F = 830,4$; $gl = 386$; $P < 0,001$) (Tabela 1). A área da folha minada variou de 0,28 a 498,45 mm² (Tabela 1). A área da folha minada aumentou do 1º ao 5º estágio e diferiu significativamente entre os estádios ($F = 249,1$; $gl = 280$; $P < 0,001$), exceto entre os 4º e 5º estádios e entre os 1º e 2º estádios (Tabela 1).

Tabela 1. Variação no tamanho da largura da cápsula cefálica, comprimento do corpo e área foliar minada entre os estádios de *Macrosaccus morrisella*.

	Instar ¹	N	Média ± SE ²	Alcance	Razão de crescimento ³
Largura da cápsula cefálica (mm)	1	89	0,219 ± 0,001 d	0,19 – 0,25	-
	2	82	0,305 ± 0,002 c	0,27 – 0,36	1,4
	3	89	0,454 ± 0,002 b	0,39 – 0,5	1,5
	4	16	0,451 ± 0,006 b	0,42 – 0,48	1
	5	80	0,589 ± 0,002 a	0,54 – 0,63	1,3
Comprimento do corpo (mm)	1	89	1,283 ± 0,039 e	0,67 – 2,00	1
	2	82	2,742 ± 0,057 d	1,64 – 3,55	2,1
	3	89	4,670 ± 0,061 c	3,01 – 5,88	1,7
	4	16	5,169 ± 0,087 b	4,40 – 5,76	1,1
	5	80	7,433 ± 0,142 a	4,26 – 9,79	1,4
Área foliar minada ⁴ (mm ²)	1	89	5,068 ± 0,375 c	0,275 – 13,770	
	2	79	31,240 ± 1,69 c	3,13 – 62,390	
	3	64	178,039 ± 15,044 b	31,610 – 487,380	
	4	6	378,427 ± 27,084 a	269,750 – 431,960	
	5	47	319,593 ± 10,634 a	147,850 – 498,450	

¹ Os estádios 1º, 2º e 3º possuem peças bucais de alimentação por seiva, enquanto os estádios 4º e 5º possuem peças bucais de alimentação de tecido.

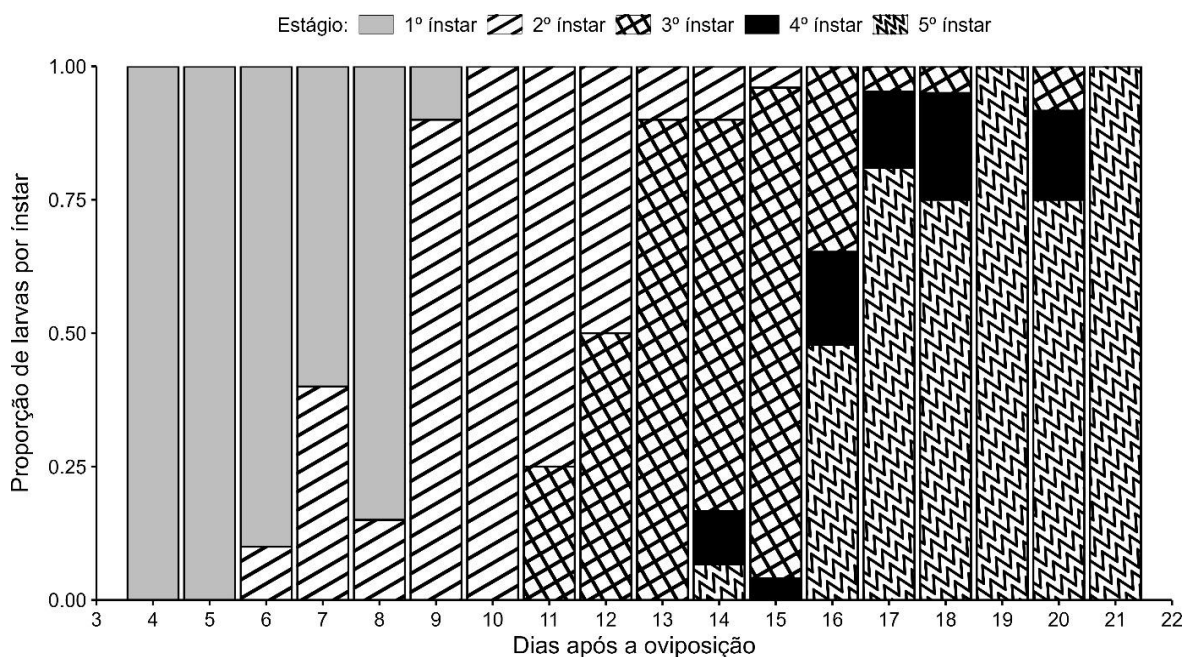
² Médias seguidas por letras diferentes indicam diferenças significativas de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

³ Foi calculada a razão entre a largura média da cápsula cefálica de cada estágio e a do estágio anterior (DYAR e RHINEBECK, 1890).

O tempo total de desenvolvimento foi de 25 dias desde a oviposição até a primeira emergência de adulto. As larvas de 1º estágio foram observadas de 4 a 9 dias após a oviposição (DAO) (mediana = 6 DAO), as de 2º estágio de 6 a 15 DAO (mediana = 10

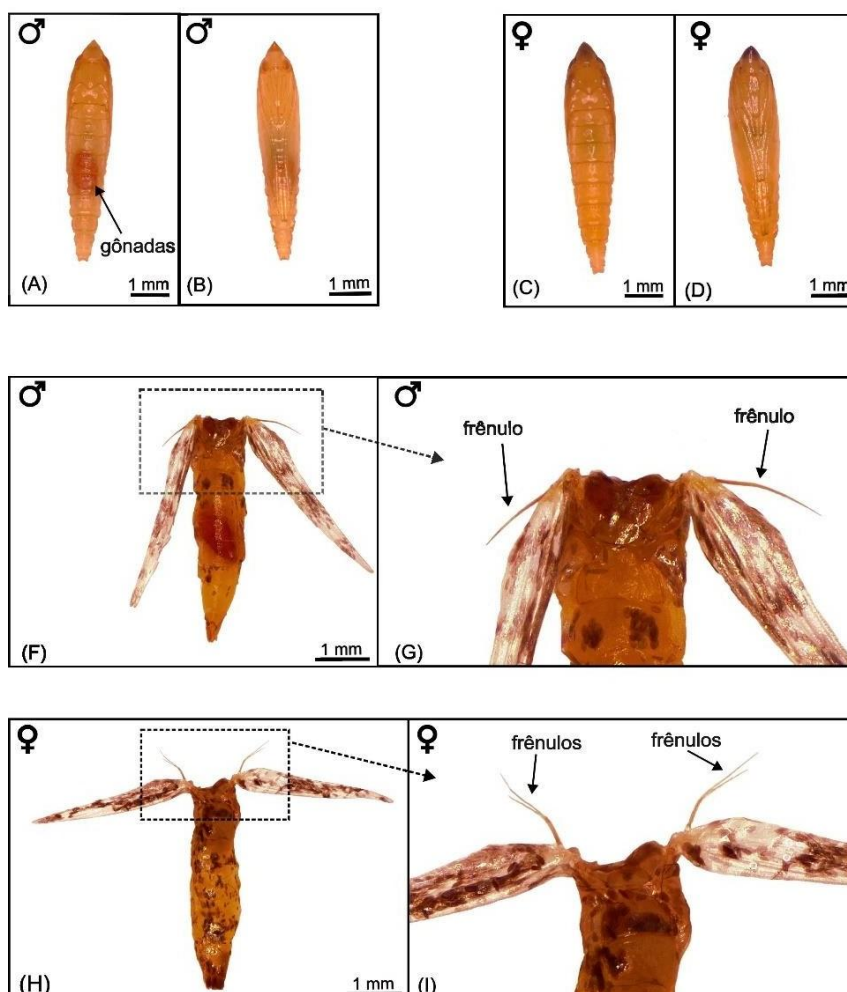
DAO), as de 3º estágio de 11 a 20 DAO (mediana = 14 DAO), as de 4º estágio de 14 a 20 DAO (mediana = 17 DAO) e as de 5º estágio de 14 a 21 DAO (mediana = 18 DAO) (Figura 4).

Figura 4. Proporção de larvas de *Macrosaccus morrisella* em cada estágio por dia. As medições diárias foram obtidas de um subconjunto de plantas de soja infestadas de uma coorte ovipositada no mesmo dia. Subconjuntos das plantas de soja foram amostrados de forma destrutiva a cada dia.



As pupas de *M. morrisella* apresentaram comprimento médio de 6,88 mm e 6,55 mm para machos e fêmeas, respectivamente, sem diferença significativa entre os sexos ($t = -1,860$, $gl = 23$, $P = 0,076$). Os machos adultos apresentaram comprimento médio de 5,21 mm e as fêmeas de 5,08 mm, sem diferença significativa entre os sexos ($t = -0,561$, $gl = 17$, $P = 0,58$). Como validação do método de determinação do sexo das pupas de *M. morrisella* pela observação da presença das gônadas através da cutícula nos machos e sua ausência nas fêmeas (Figura 5A), a dissecação dos 20 adultos resultantes confirmou que esse método de determinação do sexo das pupas estava correto em 100% das observações. Os adultos podem ser sexualmente diferenciados pela observação destrutiva de dois frênulos nas fêmeas (Figura 5J) e um frênulo nos machos (Figura 5E).

Figura 5. Vistas dorsais do macho (A) e da fêmea (C) de pupas de *Macrosaccus morrisella*, vistas ventrais do macho (B) e da fêmea (D) pupas de *M. morrisella*, e metatórax, asas posteriores e abdômen dos machos (E e F) e fêmeas (G e H) adultos de *M. morrisella*.



Fonte: Autora, 2024.

9. DISCUSSÃO

A pesquisa apresentada aqui elucidou os estádios larvais e avalia o dimorfismo sexual de *M. morrisella*, uma praga emergente da soja na América do Norte. Relatos anteriores sobre esses aspectos biológicos deste inseto indicaram semelhança com *M. robiniella*, mas com informações específicas limitadas para *M. morrisella* (DAVIS e DE PRINS, 2011). Este estudo preenche uma importante lacuna em nossa compreensão da biologia de *M. morrisella*, que é crucial para o desenvolvimento de estratégias de manejo integrado para essa praga.

O conhecimento dos estádios larvais de um inseto é essencial para a modelagem populacional e para estudos de mortalidade e sobrevivência baseados em tabelas de vida, que são fundamentais para o desenvolvimento de estratégias de manejo de pragas

(CASTAÑEDA- VILDÓZOLA et al., 2016). Os resultados deste estudo mostraram que *M. morrisella* possui cinco estádios larvais, corroborando a semelhança relatada entre *M. morrisella* e *M. Robiniella* (DAVIS e DE PRINS, 2011). Para *M. morrisella*, houve uma sobreposição na distribuição da largura da cápsula cefálica entre os 3º e 4º estádios. No entanto, devido às diferenças morfológicas (por exemplo, peças bucais) (DAVIS e DE PRINS, 2011), foi confirmado que a distribuição sobreposta correspondia a dois estádios distintos (ou seja, 3º estágio de alimentação por seiva e 4º estágio de alimentação de tecido).

A largura média da cápsula cefálica dos 3º e 4º estádios de *M. morrisella* não diferiu significativamente. SEFROVA (2002) encontrou um resultado semelhante com *Phyllonorycter issikii* (Kumata) (Lepidoptera: Gracillariidae). A sobreposição da largura da cápsula cefálica entre os 3º e 4º estádios de *M. morrisella* está provavelmente associada ao hipermetamorfismo observado em muitas espécies de Gracillariidae, com os estádios iniciais de alimentação por seiva apresentando características autapomórficas conspícuas antes de se converterem em formas mais eruciformes ou semelhantes a lagartas em estágios posteriores (GOLDSTEIN, 2017). Isso ocorre porque, em alguns casos, as larvas alteram sua morfologia sem necessariamente aumentarem de tamanho (POTTINGER e LEROUX, 1971). De forma semelhante, POTTINGER e LEROUX (1971) observaram que a largura da cápsula cefálica das larvas do 3º e 4º estádios de *Phyllonorycter blancardella* (Bankes) (Lepidoptera: Gracillariidae) permaneceu a mesma, mas que podiam ser separadas com base em morfologias distintas. A presença de duas morfologias larvais (ou seja, 1. sem pernas, achatadas e prognatas para alimentação por seiva; e 2. com pernas, cilíndricas e hipognatas para alimentação de tecido ou produção de seda) já foi identificada em 15 gêneros de Gracillariidae (KUMATA, 1978; WAGNER et al., 2000).

O comprimento corporal das larvas de *M. morrisella* no presente estudo variou de 0,67 a 9,79 mm, enquanto DAVIS e DE PRINS (2011) relataram um comprimento de 4,7 mm para *M. morrisella* em plantas hospedeiras nativas. O tamanho maior das larvas relatado aqui pode ser devido a diferenças na adequação da soja em comparação com as plantas hospedeiras nativas, no entanto, mais pesquisas são necessárias para examinar essa hipótese. Por exemplo, as espécies de plantas hospedeiras nativas podem ter evoluído sob seleção natural contra vários herbívoros e podem conter concentrações mais altas de compostos defensivos em comparação com espécies de plantas hospedeiras nativas ou domesticadas (HARVEY et al., 2003; SARFRAZ et al., 2011). Além disso, as plantas cultivadas podem ter níveis de nutrientes mais altos, o que pode levar a uma maior preferência e consumo por

insetos, resultando em maior crescimento populacional de insetos e mais danos aos tecidos (FERNANDEZ et al., 2021). Além disso, o comprimento corporal das larvas de *M. morrisella* apresentou diferenças estatísticas entre todos os estádios, mesmo com as distribuições de tamanho dos estádios se sobrepondo, o que apoia a existência de cinco estádios larvais para essa espécie.

Para indivíduos encontrados sozinhos em minas no presente estudo, larvas de 1º e 2º estádios foram encontradas em minas do tipo serpentina, larvas de 3º estádio em minas do tipo redondas, e larvas de 4º e 5º estádios e pupas em minas tentiformes. Esses resultados corroboram a literatura indicando que os estádios iniciais de alimentação por seiva formam minas serpentina, que depois se expandem para minas semelhantes a manchas brancas (redondas), que mais tarde se tornam tentiformes devido aos estádios tardios de alimentação de tecido depositando seda, que seca e puxa as paredes da mina para dentro, resultando na formação de uma tenda na superfície superior da folha (DAVIS e DE PRINS, 2011; KOCH et al., 2021; MENGER et al., 2024; RIBEIRO et al., 2024). No entanto, à medida que as minas de múltiplos *M. morrisella* se desenvolvem e se fundem, as minas de manchas e tentiformes podem às vezes conter mais de uma larva, e as larvas podem estar em diferentes estágios nessas minas. Saber quais estádios ocorrem em cada tipo de mina pode ser uma informação útil para o planejamento de estratégias de manejo (por exemplo, o timing das aplicações de inseticidas) para essa praga. A quantidade de área foliar minada aumentou à medida que as larvas avançavam para estádios posteriores. O tecido foliar danificado pela minação de *M. morrisella* eventualmente morre, o que pode reduzir a área fotossintética das plantas e levar a uma redução na produtividade da soja; no entanto, mais pesquisas são necessárias para examinar essa interação inseto-planta e a potencial perda de produtividade. Outros insetos minadores de folhas, como *Aproaerema modicella* (Deventer) (Lepidoptera: Gelechiidae) na Ásia, África e Austrália, são conhecidos como importantes pragas da soja (GAUR e MOGALAPU, 2018).

Neste estudo, apenas 16 indivíduos no 4º estádio foram observados, mesmo com a amostragem diária e um número total relativamente grande de amostras (356 larvas). No entanto, a existência do 4º estádio foi confirmada pelos exoesqueletos de cinco estádios. Um estudo semelhante encontrou que as larvas de *Marmara arbutiella* (Busck) (Lepidoptera: Gracillariidae) passam por um breve estádio de transição, geralmente durando menos de 24 horas, após o estágio de alimentação por seiva (WAGNER et al., 2000). Assim, o baixo número de indivíduos de *M. morrisella* no 4º estádio neste estudo pode ser devido a esse ser

um estágio de transição igualmente breve. As principais diferenças morfológicas observadas entre os 3º e 4º estádios de *M. morrisella* neste estudo foram as distintas peças bucais e a presença das pernas nas larvas do 4º estágio, que não estão presentes nos estádios anteriores.

Flutuações nas condições do microhabitat podem afetar o vigor da prole e o tempo de desenvolvimento (ŁASZCZYCA et al., 2021). O tempo total de desenvolvimento desde a oviposição até a primeira emergência de adultos de *M. morrisella* foi de 25 dias. Em RIBEIRO et al. (2024), a emergência dos primeiros adultos ocorreu após 20 a 24 dias a 25°C. Embora métodos semelhantes aos de RIBEIRO et al. (2024) tenham sido utilizados neste estudo, os insetos foram criados a uma temperatura média ligeiramente mais baixa (24,1°C), o que pode ter contribuído para a diferença no tempo de desenvolvimento entre os estudos.

A capacidade de distinguir os sexos de uma espécie de inseto pode desempenhar um papel crucial na identificação, monitoramento e manejo de espécies de pragas. Os adultos de *M. morrisella* podem ser sexados pela examinação de seus órgãos genitais através de dissecação, mas isso é demorado e requer conhecimento técnico e experiência (GENC, 2016). Outra maneira de sexar adultos de *M. morrisella* é pela inspeção visual dos frênulos da asa traseira com a ajuda de um microscópio de dissecação. Os machos têm 1 frênulo e as fêmeas têm 2 frênulos (DAVIS e DE PRINS, 2011). No entanto, ambos os métodos são destrutivos e não são adequados para experimentos que requerem indivíduos vivos. No presente estudo, foi constatado que os sexos das pupas de *M. morrisella* podem ser diferenciados pela observação da presença das gônadas através da cutícula nas pupas machos e pela ausência delas nas pupas fêmeas. Métodos semelhantes foram utilizados por SHANOWER et al. (1993) e SALEM et al. (2021) para determinar o sexo de pupas de Gelechiidae (Lepidoptera).

Compreender a morfologia dos estágios imaturos e ser capaz de determinar o sexo de adultos e estágios imaturos é fundamental tanto para pesquisas quanto para fins de manejo. Isso também é crucial para o desenvolvimento de estratégias de controle eficazes, pois possibilita estratégias de controle direcionadas com base em características e comportamentos específicos de cada sexo (SIDDALL et al., 2022). Informações sobre a morfologia dos estágios imaturos são importantes para entender as interações desses estágios com as plantas hospedeiras, particularmente quando os danos aos tecidos e a histologia das minas são explorados em conjunto com a ontogenia da praga (PEREIRA et al., 2018), que é o caso dos minadores de folhas. No entanto, é importante ressaltar que os resultados do tamanho corporal determinados neste estudo foram obtidos sob condições de laboratório, que podem diferir das condições que o inseto enfrentaria no campo.

10. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi determinado que *M. morrisella* possui cinco instares de desenvolvimento. Nesta pesquisa, verificou-se que os sexos das pupas de *M. morrisella* podem ser distinguidos pela observação da presença das gônadas através da cutícula nas pupas machos e pela ausência delas nas pupas fêmeas. No entanto, mais pesquisas ainda são necessárias para avançar no conhecimento da biologia de *M. morrisella* e como esses insetos poderiam ser afetados por temperaturas variáveis e qualidades das plantas hospedeiras, ou se o mesmo padrão de ciclo de vida e número de estágios ocorrem em condições de campo.

REFERÊNCIAS

- CALVO, D.; MOLINA, J. M. Head capsule width and instar determination for larvae of *Streblote panda* (Lepidoptera: Lasiocampidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 101, n. 5, p. 881-886, 2008.
- CARMO, D. G.; FARIAS, E. S.; COSTA, T. L.; QUEIROZ, E. A.; NASCIMENTO, M.; PICANÇO, M. C. Instar determination of *Blaptostethus pallescens* (Hemiptera: Anthocoridae) using artificial neural networks. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 113, n. 1, p. 50-54, 2020. <https://doi.org/10.1093/aesa/saz059>
- CASTAÑEDA-VILDÓZOLA, Á.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, H.; EQUIHUA-MARTÍNEZ, A.; VALDEZ-CARRASCO, J.; PEÑA, J. E.; CAZADO, L. E.; FRANCO-MORA, O. Head capsule width is useful for determining larval instar in *Heilipus lauri* (Coleoptera: Curculionidae). **Florida Entomologist**, v. 99, n. 4, p. 822-825, 2016. <https://doi.org/10.1653/024.099.0448>
- DALY H. V. Insect morphometrics. **Annual Review of Entomology**, v. 30, p. 415-438, 1985. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.30.010185.002215>
- DAVIS, D. R.; DE PRINS, J. Systematics and biology of the new genus *Macrosaccus* with descriptions of two new species (Lepidoptera, Gracillariidae). **ZooKeys**, n. 98, p. 29, 2011. <https://doi.org/10.3897/zookeys.98.925>
- DYAR, H G.; RHINEBECK, N. Y. The number of molts of lepidopterous larvae. **Psyche: A Journal of Entomology**, v. 5, p. 420-422, 1890. <https://doi.org/10.1155/1890/23871>
- EISEMAN C. S.; DAVIS D. R. A new species of *Macrosaccus* (Lepidoptera: Gracillariidae: Lithocolletinae) from Arizona, USA. **Zootaxa** v. 4358, n. 2, p. 385–392. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4358.2.11>
- FEHR W; CAVINESS C. Stages of soybean development. In: **Iowa Agriculture and Economics Experiment Station Special Report 80**. Ames: Iowa State University, 1977, p. 11.
- FERNANDEZ, A. R.; SÁEZ, A.; QUINTERO, C.; GLEISER, G.; AIZEN, M. A. Intentional and unintentional selection during plant domestication: herbivore damage, plant defensive traits and nutritional quality of fruit and seed crops. **New Phytologist**, v. 231, n. 4, p. 1586-1598, 2021. <https://doi.org/10.1111/nph.17452>
- GAUR N.; MOGALAPU S. Pests of Soybean. In: Omkar (Ed.) **Pests and Their Management**. Singapore: Springer, 2018. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8687-8_6
- GENC, H. The tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae): pupal key characters for sexing individuals. **Turkish Journal of Zoology**, v. 40, n. 5, p. 801-805, 2016. <https://doi.org/10.3906/zoo-1510-59>
- GOLDSTEIN, P. Z. Diversity and significance of Lepidoptera: a phylogenetic perspective. In: FOOTITT, R.G., ADLER, P. H. (Eds.) **Insect biodiversity: science and society**, 2 ed., Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2017. p. 463-495.

<https://doi.org/10.1002/9781118945568.ch13>

HARVEY, J. A.; VAN DAM, N. M.; GOLS, R. Interactions over four trophic levels: foodplant quality affects development of a hyperparasitoid as mediated through a herbivore and its primary parasitoid. **Journal of Animal Ecology**, v. 72, n. 3, p. 520-531, 2003. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2656.2003.00722.x>

HERNÁNDEZ-LIVERA, R. A.; LLANDERAL-CAZÁRES, C.; CASTILLO-MÁRQUEZ, L. E.; VALDEZ-CARRASCO, J.; NIETO-HERNÁNDEZ, R. Identificación de instares larvales de *Comadia redtenbacheri* (Hamm) (Lepidoptera: Cossidae). **Agrociencia**, v. 39, n. 5, p. 539- 544, 2005.

KIRICHENKO, N. I.; KOLYADA, N. A.; GOMBOC, S. First discovery of the north American leaf-mining moth *Chrysaster ostensackenella* (Lepidoptera: Gracillariidae) in Russia: the genetic diversity of a novel pest in invaded vs. native range. **Insects**, v. 14, n. 7, p. 642, 2023. <https://doi.org/10.3390/insects14070642>

KOCH, R. L.; MOISAN-DE SERRES, J.; RIBEIRO, A. V. First Reports of *Macrosaccus morrisella* (Lepidoptera: Gracillariidae) Feeding on Soybean, *Glycine max* (Fabales: Fabaceae). **Journal of Integrated Pest Management**, v. 12, n. 1, p. 44, 2021. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmab038>

KUMATA T. A new stem-miner of alder in Japan, with a review of the larval transformation in the Gracillariidae (Lepidoptera). *Insecta Matsumurana*, v. 13 p. 1-27, 1978.

ŁASZCZYCA, P.; NAKONIECZNY, M.; KĘDZIORSKI, A.; BABCZYŃSKA, A.; WIESNER, M. Towards understanding *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: Gracillariidae) development: effects of microhabitat variability in naturally growing horse-chestnut tree canopy. **International Journal of Biometeorology**, v. 65, p. 1647-1658, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02119-8>

LI, N.; WU, L.; GENG, Y.; WEI, D.; CHEN, M. Determination of larval instars of *Semanotus bifasciatus* (Coleoptera: Cerambycidae) based on frequency distributions of morphological variables. **Journal of Entomological Science**, 55(3), 405-415. <https://doi.org/10.18474/0749-8004-55.3.405>

LIU K. Soybean Overview. In: WRIGLEY, C. W.; CORKE, H.; SEETHARAMAN, K.; FAUBION, J. (Eds.) **Encyclopedia of Food Grains**, 2 ed., Oxford: Elsevier Academic Press, 2016. p. 228-236.

LIU, W. H.; DAI, X. H.; XU, J. S. Influences of leaf-mining insects on their host plants: A review. **Collectanea botanica**, v. 34, p. 005, 2015. https://doi.org/10.3989/collectbot_2015.v34.005

LOPEZ-VAAMONDE, C.; KIRICHENKO, N.; CAMA, A.; DOORENWEERD, C.; GODFRAY, H. C. J.; GUIGUET, A.; GOMBOC, S.; HUEMER, P.; LANDRY, J.; LASTUVKA, A.; LASTUVKA, Z.; LEE, K. M.; LEES, D. C.; MUTANEN, M.; NIEUKERKEN, E. J. V.; SEGERER, A. H.; TRIBERTI, P.; WIESER, C.; ROUGERIE, R. 2021. Evaluating DNA barcoding for species identification and discovery in European

gracillariid moths. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 9, p. 626752, 2021. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.626752>

MENGER, J. P.; RIBEIRO, A. V.; FÜHR, F. M.; KOCH, R. L. Laboratory rearing methods for the soybean tentiform leafminer (Lepidoptera: Gracillariidae), a new pest of soybean. **The Great Lakes Entomologist**, v. 57, n. 1, p. 63-68, 2024. <https://doi.org/10.22543/0090-0222.2477>

MORALES-RAMOS, J. A.; KAY, S.; ROJAS, M. G.; SHAPIRO-ILAN, D. I.; TEDDERS, W. L. Morphometric analysis of instar variation in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 108, n. 2, p. 146-159, 2015. <https://doi.org/10.1093/aesa/sau049>

PEREIRA, C. M.; SILVA, D. S.; VARGAS, H. A.; MOREIRA, G. R. Description of immature stages and natural history of *Stigmella schinivora* (Lepidoptera: Nepticulidae), a leaf-miner associated with the Brazilian peppertree. **Zoologia (Curitiba)**, v. 35, p. e24485, 2018. <https://doi.org/10.3897/zoologia.35.e24485>

POSADA, F. J.; VIRDIANA, I.; NAVIES, M.; PAVA-RIPOLL, M.; HEBBAR, P. Sexual dimorphism of pupae and adults of the cocoa pod borer, *Conopomorpha cramerella*. **Journal of Insect Science**, v. 11, n. 1, p. 52, 2011. <https://doi.org/10.1673/031.011.5201>

POTTINGER, R. P.; LEROUX, E. J. The biology and dynamics of *Lithocolletis blancardella* (Lepidoptera: Gracillariidae) on apple in Quebec. **The Memoirs of the Entomological Society of Canada**, v. 103, n. S77, p. 1-437, 1971. <https://doi.org/10.4039/entm10377fv>

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 20/09/2024.

RIBEIRO, A. V.; MENGER, J. P.; FÜHR, F. M.; KOCH, R. L. Immature development and adult longevity of the soybean tentiform leafminer (Lepidoptera: Gracillariidae). **Environmental Entomology**, v. 53, n. 4, p. 723-729, 2024. <https://doi.org/10.1093/ee/nvae059>.

SALEM, S. M.; MADY, H. E.; AHMED, M. M. Sex discrimination by morphological traits for larvae and pupae of potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae) using binocular microscope. **Egyptian Academic Journal of Biological Sciences. A, Entomology**, v. 14, n. 4, p. 109-116, 2021. <https://doi.org/10.21608/EAJBSA.2021.207224>

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

SCHNEIDER, C. A.; RASBAND, W. S.; ELICEIRI, K. W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. **Nature methods**, v. 9, n. 7, p. 671-

675, 2012. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>

SEFROVA H. *Phyllonorycter issikii* (Kumata, 1963) - bionomics, ecological impact and spread in Europe (Lepidoptera, Gracillariidae). **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, v. 50, n. 3, p. 99-104, 2002.

SHANOWER, T. G.; WIGHTMAN, J. A.; GUTIERREZ, A. P. Biology and control of the groundnut leafminer, *Proaerema modicella* (Deventer) (Lepidoptera: Gelechiidae). **Crop Protection**, v. 12, n. 1, p. 3-10, 1993. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(93\)90014-A](https://doi.org/10.1016/0261-2194(93)90014-A)

SIDDALL, A.; HARVEY-SAMUEL, T.; CHAPMAN, T.; LEFTWICH, P. T. Manipulating insect sex determination pathways for genetic pest management: opportunities and challenges. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 10, p. 867851, 2022. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.867851>

STOREY-PALMA, J.; BENÍTEZ, H.; PARRA, L. E.; VARGAS, H. A. Identification of sap- feeder instars in *Angelabella tecomae* Vargas & Parra (Lepidoptera, Gracillariidae) feeding on *Tecoma fulva fulva* (Bignoniaceae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 56, p. 508-510, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0085-56262012000400018>

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE. **Production - Soybeans**. 2024. Available at: <https://fas.usda.gov/data/production/commodity/2222000>. Acesso em: 07/08/2024.

WAGNER, D. L.; LOOSE, J. L.; FITZGERALD, T. D.; DE BENEDICTIS, J. A.; DAVIS, D. R. A hidden past: the hypermetamorphic development of *Marmara arbutiella* (Lepidoptera: Gracillariidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 93, n. 1, p. 59-64, 2000. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2000\)093\[0059:AHPTHD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2000)093[0059:AHPTHD]2.0.CO;2)

WANG, W.; XIAO, G.; YANG, B.; YE, J.; ZHANG, X.; ZHENG, Y.; CHEN, B. Instar determination for the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) using the density-based OPTICS clustering algorithm. **Environmental Entomology**, v. 51, n. 5, p. 940- 947, 2022.

WICKHAM, H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**, 2 ed. New York: Springer Cham, 2016, p. 260.

WU, H.; APPEL, A. G.; HU, X. P. Instar determination of *Blaptica dubia* (Blattodea: Blaberidae) using Gaussian mixture models. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 106, n. 3, p. 323-328, 2013. <https://doi.org/10.1603/AN12131>

CAPÍTULO III

MODELOS PARA PREVISÃO DE PERDAS DE PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE SOJA DEVIDO AO ATAQUE DE NINFAS DE *Bemisia tabaci* UTILIZANDO REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS

RESUMO

A soja, uma das principais oleaginosas globais, enfrenta diversos desafios, incluindo pragas como a *Bemisia tabaci* (Genn.), que causam danos diretos e indiretos às plantas. Compreender as complexas relações entre o rendimento da cultura e os fatores que afetam esse rendimento é o maior desafio dos produtores de soja. Diante disso, o objetivo do estudo foi desenvolver modelos para prever perdas de rendimento da planta de soja devido ao ataque de *B. tabaci* usando redes neurais artificiais. O estudo foi conduzido em Viçosa, MG, Brasil, em casa de vegetação, e avaliou o efeito dessa praga sobre características das plantas de soja, em diferentes fases de desenvolvimento (vegetativa e reprodutiva). Foi realizada a análise de correlações de Pearson (r) entre a densidade de *B. tabaci* (ninfas por planta) e características das plantas de soja atacadas por este inseto nos estágios vegetativo ou reprodutivo. As características avaliadas foram: altura das plantas (cm), área foliar da planta (cm²) e rendimento (g de grãos por planta). Foi desenvolvido um modelo preditivo utilizando redes neurais artificiais (RNA) para prever a perda de rendimento em função da densidade de ninfas de *B. tabaci*. O modelo obteve alta precisão, com correlação significativa entre os fatores de produção e o rendimento da soja. O peso médio do grão, o número de flores por planta e o número de óvulos por vagem foram identificados como os componentes que mais influenciaram o rendimento da soja tendo correlação positiva com o rendimento. Em contraste, o abortamento de flores e a má formação das vagens tiveram correlação negativa afetando negativamente o rendimento de grãos. E o menor rendimento foi observado quando as infestações ocorreram no estágio vegetativo. A aplicação de redes neurais artificiais se mostrou eficaz para prever o impacto da infestação e oferece uma ferramenta valiosa para o manejo integrado de pragas, ajudando a minimizar as perdas na produção agrícola.

Palavras-Chave: *Glycine max*; Produtividade; Abortamento de grãos e vagens; Perdas de produtividade; Danos; Manejo integrado de pragas.

MODELS FOR PREDICTING SOYBEAN YIELD LOSS CAUSED BY *Bemisia tabaci* NYMPH DAMAGE USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

ABSTRACT

Soybean, one of the world's main oilseed crops, faces several challenges, including pests such as *Bemisia tabaci* (Genn.), which cause both direct and indirect damage to plants. Understanding the complex relationships between crop yield and the factors that influence it remains one of the greatest challenges for soybean producers. In this context, the objective of this study was to develop models to predict soybean yield loss caused by *B. tabaci* attack using artificial neural networks. The study was conducted in a greenhouse in Viçosa, Minas Gerais, Brazil, and evaluated the effect of this pest on soybean plant characteristics at different developmental stages (vegetative and reproductive). Pearson correlation analyses (r) were performed between *B. tabaci* density (nymphs per plant) and plant characteristics affected by the pest during vegetative or reproductive stages. The evaluated traits included plant height (cm), leaf area (cm²), and yield (g of grain per plant). A predictive model using artificial neural networks (ANN) was developed to estimate yield loss as a function of *B. tabaci* nymph density. The model showed high accuracy, with significant correlations between production components and soybean yield. Average grain weight, number of flowers per plant, and number of ovules per pod were identified as the traits most positively correlated with yield. In contrast, flower abortion and malformed pods showed negative correlations, reducing grain production. The lowest yields were observed when infestations occurred during the vegetative stage. The application of artificial neural networks proved effective in predicting the impact of infestation and provides a valuable tool for integrated pest management, helping to minimize losses in agricultural production.

Keywords: *Glycine max*; Productivity; Flower and pod abortion; Yield losses; Damage; Integrated pest management.

11. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merr.) é a principal oleaginosa produzida no mundo, sua importância é devido ao seu alto valor proteico e a variedade de seus usos. A soja é utilizada na alimentação humana e animal para suprir proteína, na produção de biodiesel (CARTER, 2022) e na indústria farmacêutica (CHEN et al. 2012). A produção mundial de soja na safra 22/23 foi de 402,787 milhões de toneladas (USDA, 2023). Apesar das altas produtividades, os produtores de soja enfrentam desafios que podem afetar significativamente a produtividade dos seus cultivos, como a incidência de pragas e doenças.

A *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) é uma das principais pragas que afetam a cultura da soja (PADILHA et al., 2021; SCHUTZE et al., 2022). Ela é a segunda praga mais importante do mundo, tem resistência comprovada a 56 moléculas de inseticidas e é encontrada em 165 países, se alimentando de 36 gêneros de plantas (WILLIS, 2017). Pela sua rápida reprodução e pelo fato desta espécie ter adquirido resistência a muitas dos inseticidas usados para seu controle, tem sido cada vez mais difícil controlá-la nos campos de soja (PADILHA et al., 2021). As ninfas de mosca branca são ainda mais difíceis de serem controladas, pelo fato de serem imóveis e por se concentrarem nas partes centrais e inferiores das plantas de soja, evitando assim contato direto com os inseticidas aplicados (ARNEMANN et al., 2019). A mosca branca causa danos diretos pela sucção de seiva e excreção de melada durante a alimentação e danos indiretos causados pela transmissão de vírus as plantas (CZEPAK et al., 2018).

Os dados de rendimento de uma cultura muitas vezes não se adequam a modelos estatísticos lineares. Por esse motivo, é necessário o uso de métodos mais precisos e avançados para lidar com a não linearidade e a complexidade dos dados relacionados às perdas de rendimento da soja. As redes neurais artificiais (RNA) são um ramo de algoritmos de aprendizagem de máquina, capazes de resolver problemas complexos, baseando-se no comportamento do cérebro humano, onde bilhões de neurônios processam sinais elétricos (DI FRANCO e SANTURRO, 2021). Os algoritmos RNA são amplamente utilizados na resolução de problemas de classificação e regressão em inteligência artificial (COSTA et al., 2021). As RNAs são ferramentas poderosas para capturar relacionamentos complexos e têm aplicações abrangentes em diferentes campos (KUJAWA e NIEDBAŁA, 2021). Na agricultura, essas redes podem ser treinadas para mapear valores de dados de séries temporais, extraindo estruturas e relacionamentos ocultos (BORELLA et al., 2022), podem

ser usadas para identificar e prever ataque de pragas (FEDOR et al., 2009), e para estimar dados de produtividade das culturas (FEDOR et al., 2009; KUJAWA e NIEDBAŁA, 2021). As RNAs têm vantagens em relação aos métodos tradicionais, como sua capacidade de lidar com grandes volumes de dados e adaptar-se a padrões não lineares (COSTA et al., 2021; DI FRANCO e SANTURRO, 2021).

Compreender as complexas relações entre o rendimento da cultura (Kg/ha) e os fatores que afetam esse rendimento é o maior desafio dos produtores de soja. Essa compreensão é crucial para um manejo mais sustentável, assertivo e econômico. Na literatura não existem trabalhos envolvendo esse entendimento das perdas de rendimento da soja causada por *Bemisia tabaci*. Os fatores em estudo serão o estágio das plantas e a intensidade de ataque de *B. tabaci*, com a hipótese de que diferentes intensidades de ataque durante os diferentes estádios têm relação com a produtividade da soja. Diante disso, o objetivo do estudo foi desenvolver modelos para prever perdas de rendimento da planta de soja devido ao ataque de *Bemisia tabaci* usando redes neurais artificiais.

12. MATERIAL E MÉTODOS

12.1 Coleta de dados

O experimento foi conduzido de janeiro a maio de 2022, em casa de vegetação localizada na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, Brasil (20°45'28.3"S, 42°52'10.1"W). As sementes de soja foram semeadas no dia 25/01/2022, em vasos de 3L, contendo uma mistura de 2 partes de solo para 1 de substrato. Foram semeados 86 vasos, com uma planta por vaso. As sementes foram tratadas com o fungicida Maxin© (fludioxonil) na dose de 2 ml/Kg de semente e com o inculante Nodusoja 10T © (*Bradyrhizobium japonicum* estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080 na concentração de 6×10^9 CFU/g). No pré-plantio foi feita a adubação com 40 kg de P₂O₅/ha e 40kg de K₂O/ha (conforme análise de solo e recomendações de RIBEIRO et al., 1999). Foram utilizados 16 gramas de KCl e 50 gramas de supersimples no plantio. A quantidade de solo gasta foi de 450 L. Então foram utilizados 0,106 g de KCl e 0,333 g de supersimples por vaso de 3 litros.

Neste trabalho foi utilizada a variedade DS 5916 IPRO (Intacta RR2 PRO). Essa variedade foi selecionada para realização desse trabalho devido a cultivar ter sido muito utilizada no estado de Minas Gerais e por possuir alto potencial produtivo e alta tolerância aos nematoides de galha. Os fatores em estudo serão o estágio das plantas e a intensidade de

ataque de *B. tabaci*.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com 4 tratamentos: infestação durante todo o ciclo, infestação somente na fase vegetativa e infestação somente na fase reprodutiva, e a testemunha sem infestação. Cada repetição foi constituída por uma planta de soja, totalizando 18 repetições por tratamento. Após a infestação as plantas foram acondicionadas em gaiolas de madeira 0,70 x 0,70 x 1,2 metros vedadas com organza para evitar contaminação. Para a infestação as plantas foram expostas a criação de mosca branca por um período de 15 horas. As plantas submetidas a infestação somente no estágio vegetativo foram submetidas a desinfestação assim que as plantas estavam no período reprodutivo com Inseticida Carnadine© (acetamiprido) (Dose: 275 ml/ha, 2 bar de pressão com pulverizador de CO₂ e 2L de calda, aplicação realizada às 7 horas da manhã). Após dois dias foi observada ainda a presença de mosca branca, e nova aplicação com Inseticida Benevia© (Ciantraniliprolí) (Dose: 1125 ml/ha, 2 bar de pressão, pulverizador de CO₂ e 2L de calda, aplicação realizada às 17:00 horas) foi realizada. Em seguida, ovos, ninfas, e adultos remanescentes foram retirados manualmente e as plantas foram colocadas em gaiolas. As densidades de ninfas de *B. tabaci* foram contadas por meio da técnica de contagem direta semanalmente, e a partir disso foi obtida a densidade média por planta para cada tratamento.

Foi realizada a colheita e avaliação de vagens e grãos nos tratamentos. A colheita foi feita em R8. Quando colhida as sementes foram armazenadas em sacos craft na BOD a 8 °C. Após isso os grãos foram acondicionados em bandejas plásticas forradas com papel toalha e deixados na casa de vegetação para secar. Durante o ciclo de cultivo foi feita a contagem de flores e vagens, foi contabilizado também o número de flores e vagens abortadas. Após a colheita foi contabilizado o número de grãos de tamanho normal, malformados e o número de óvulos abortados.

12.2 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas com o RStudio versão 2023.12.1.402 (RStudio, Boston, EUA) com o R versão 4.3.3 (R CORE TEAM, 2024). As RNAs foram desenvolvidas utilizando a função “mlp” do pacote RSNNS (BERGMEIR e BENÍTEZ, 2012). Foram testadas quatro funções de ativação (exponential, hyperbolic tangent, identity, and logistic) e três algoritmos de aprendizado (resilient propagation, scaled conjugate

gradient, and standard backpropagation). O número máximo de interações foi fixado em 100 e o tamanho da RNA (número de neurônios na camada oculta) variou de 1 a 8. O peso inicial da RNA foi gerado aleatoriamente (`initFunc = "Randomize_Weights"`) e os argumentos restantes foram padrão. No total, 96 RNAs foram construídas (4 funções de ativação \times 3 algoritmos de aprendizado \times 8 tamanhos de RNA \times 1 variáveis de resposta). Os modelos foram selecionados comparando os valores observados das variáveis de resposta com aqueles ajustados pelas RNAs. A correlação de Pearson (r_v) e o erro quadrático médio (RMSEv) foram estimados para o conjunto de validação. Nosso objetivo principal foi selecionar uma única e melhor configuração de RNA, que produzisse o modelo mais preciso (ou seja, aquele com o menor RMSEv e o maior r_v). Uma vez selecionada a RNA vencedora, a importância relativa dos preditores foi estimada usando o algoritmo de Olden (função `olden`, pacote `NeuralNetTools`). O método de Olden calcula a importância relativa dos preditores com base no produto dos pesos da conexão entrada-oculta e oculta-saída e a soma desses produtos em todos os neurônios ocultos (OLDEN et al. 2004; COSTA et al. 2021). A RNA vencedora foi executada 250 vezes, cada uma com um conjunto aleatório de pesos iniciais, e as estimativas de Olden foram registradas e combinadas para estimar o intervalo de confiança de 95% (IC 95) (BECK, 2018). 30% dos dados foram utilizados para construção do modelo, e os 70% restantes foram utilizados na validação do modelo. Um preditor era significativo quando os limites do CI 95 não incluíram zero (BECK, 2018; FARIAS et al., 2022). Finalmente, análises de sensibilidade foram realizadas usando gráficos de dependência parcial (função `parcial`, pacote "pdp").

Para verificar o efeito das fases de infestação (ciclo todo, vegetativo e reprodutivo) sob produção de soja foi realizada uma Análise de Deviance (Anodev) com teste F a 5% de significância (stats package from R, `lm` function, R CORE TEAM, 2024).

Foi realizada a análise de correlações de Pearson (r) entre a densidade de *B. tabaci* (ninfas por planta) e características das plantas de soja atacadas por este inseto nos estágios vegetativo ou reprodutivo. O trabalho foi conduzido utilizando apenas ninfas pela dificuldade de quantificar os adultos, os adultos recém emergidos eram removidos com auxílio de sugador manual. As características avaliadas foram: altura das plantas (cm), área foliar da planta (cm²) e rendimento (g de grãos por planta).

Posteriormente, foi realizada a análise de regressão para cada uma das fases de infestação de mosca branca com a produção de soja, para verificar o comportamento das curvas de regressão. Os modelos de regressão que mais se ajustaram aos dados foram aqueles

de regressão lineares. Para a confecção das figuras foi utilizado o programa Sigmaplot 14.5 (Systat Software, Inc.).

13. RESULTADOS

13.1 Efeito do ataque de *B. tabaci* sobre características das plantas

Foi feito a análise de correlação de Pearson para verificar o efeito nas características das plantas de soja atacadas por este inseto nos estágios vegetativo e reprodutivo (Tabela 1).

Verificamos efeito significativo negativo do ataque de *B. tabaci* durante os estágios vegetativo e reprodutivo da soja, sob a área foliar da planta (cm²) e rendimento (g de grãos por planta) (Tabela 1). Não foi observado efeito significativo na altura das plantas (cm) em nenhuma das fases de infestação (Tabela 1).

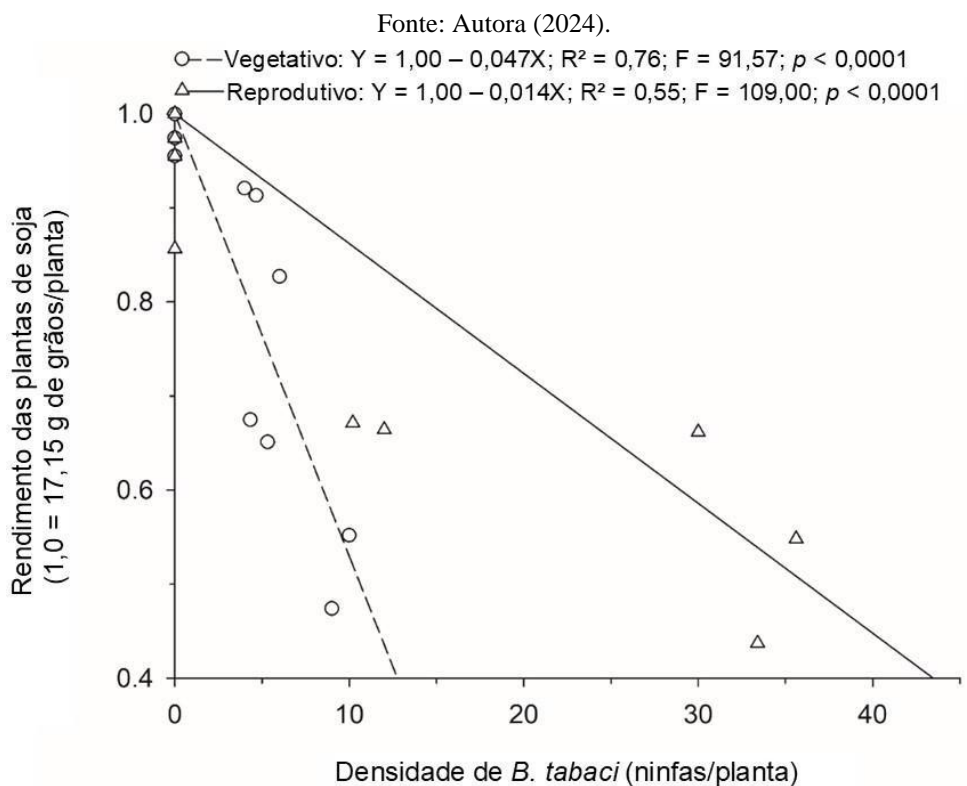
Tabela 1. Correlações de Pearson (r) entre as características das plantas de soja atacadas por este inseto nos estágios vegetativo ou reprodutivo.

Característica das plantas	Estágio das plantas atacadas por <i>Bemisia tabaci</i>			
	Vegetativo		Reprodutivo	
	r	p	r	p
Altura (cm)	0,02	0,4720	-0,41	0,0503
Área foliar (cm ²)	-0,43	0,0381	-0,76	0,0002
Rendimento (g de grãos por planta)	-0,65	0,0019	-0,81	0,0000

Fonte: Autora (2024).

Os modelos de regressão do rendimento das plantas de soja em função da densidade de *B. tabaci* foram significativos ($p < 0,05$) tanto quando as plantas foram atacadas por essa praga tanto nos estágios vegetativos quanto no período reprodutivo (Figura 1). Podemos observar também uma maior inclinação da curva no estágio vegetativo, demonstrando menor tolerância ao ataque de *B. tabaci* nessa fase (Figura 1).

Figura 1. Rendimento de plantas de soja em função da densidade de *Bemisia tabaci* nos estágios vegetativo e reprodutivo dessas plantas.



13.2 Contribuição dos componentes de produção no rendimento das plantas atacadas por *B. tabaci*

Os valores observados e preditos pelas RNAs testadas para prever a rendimento de soja em massa de grãos em função dos componentes de produção apresentaram correlações de moderadas a altas (0,42 a 0,97) (Tabela 2).

Tabela 2. Topologia (número de neurônios, função de ativação e algoritmo de aprendizado) e desempenho (r_v = correlação de Pearson dos dados ajustados e observados, e $RMSE_v$ = erro quadrático médio da raiz no conjunto de validação) das redes neurais artificiais (RNA) projetadas para prever influência do ataque de *Bemisia tabaci* (y = ninfas) no rendimento da cultura da soja com os componentes de produção (flores, vagens e grãos). A RNA com melhor desempenho de acordo com o $RMSE_v$ (menor $RMSE_v$) foi selecionada.

Neurônios	Função de ativação	Algoritmo de aprendizado *	r_v	$RMSE_v$
4 ^s	Hyperbolic tangent	Std_Backpropagation	0,9602	0,0454

6	Hyperbolic tangent	Std_Backpropagation	0,9700	0,0461
8	Hyperbolic tangent	SCG	0,9677	0,0489
7	Hyperbolic tangent	SCG	0,9663	0,0529
7	Logistic	Rprop	0,9536	0,0547
7	Hyperbolic tangent	Rprop	0,9524	0,0553
7	Hyperbolic tangent	Std_Backpropagation	0,9523	0,0555
4	Hyperbolic tangent	SCG	0,9464	0,0581
6	Sigmoid	Rprop	0,9559	0,0584
8	Hyperbolic tangent	Std_Backpropagation	0,9530	0,0585
5	Hyperbolic tangent	Std_Backpropagation	0,9503	0,0588
5	Logistic	Rprop	0,9494	0,0589
3	Hyperbolic tangent	Rprop	0,9462	0,0589
2	Hyperbolic tangent	Std_Backpropagation	0,9329	0,0602
5	Hyperbolic tangent	SCG	0,9476	0,0610
3	Hyperbolic tangent	Std_Backpropagation	0,9544	0,0611
4	Logistic	Rprop	0,9526	0,0616
7	Sigmoid	Rprop	0,9398	0,0624
6	Hyperbolic tangent	Rprop	0,9498	0,0624
8	Sigmoid	Rprop	0,9496	0,0630
7	Sigmoid	Std_Backpropagation	0,9336	0,0630
4	Sigmoid	Rprop	0,9427	0,0632
3	Hyperbolic tangent	SCG	0,9301	0,0635
8	Logistic	Rprop	0,9428	0,0637
6	Logistic	Rprop	0,9453	0,0639
8	Sigmoid	Std_Backpropagation	0,9321	0,0649
3	Logistic	Rprop	0,9457	0,0652
6	Hyperbolic tangent	SCG	0,9375	0,0655

*Rprop, propagação resiliente; SCG, gradiente conjugado escalonado; Std_Backpropagation, retropropagação padrão.

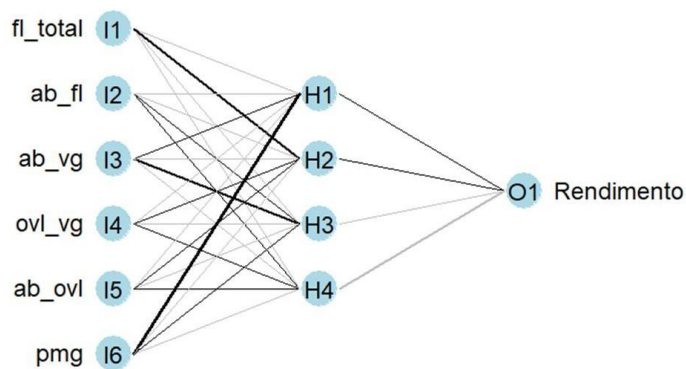
§ Modelo selecionado por apresentar menor número de neurônios na camada oculta, maior correlação de Pearson e menor quadrado médio do erro.

Fonte: Autora (2024).

A configuração da RNA contendo dados dos componentes reprodutivos, quatro neurônios na camada oculta, função de ativação da tangente hiperbólica e retropropagação padrão do algoritmo de aprendizado teve o melhor desempenho ($rv = 0,9602$ e $RMSEv = 0,0454$) (Tabela 2), portanto foi selecionada. A topologia da rede vencedora é representada na Figura 2.

Figura 2. Diagrama esquemático da rede neural artificial (RNA) vencedora. A RNA consiste em uma camada de entrada (I) com seis neurônios, uma camada oculta com quatro neurônios (H) e uma camada de saída (O) com um único neurônio. Fl_total, flores totais; Ab_fl, abortamento de flores; Ab_vg, abortamento de vagens; Ovl_vg, óvulos por vagem; Ab_ovl, abortamento de óvulos; e pmg, peso médio do grão (g). Linhas pretas

representam pesos positivos entre as camadas (linhas cinzas caso contrário) e a espessura da linha corresponde à magnitude relativa de cada peso.

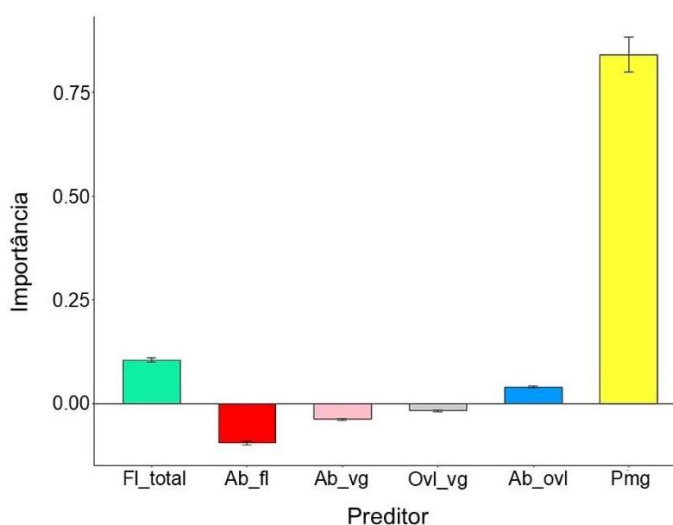


Fonte: Autora (2024).

De acordo com o Olden test, a importância relativa (calculada a partir dos pesos de conexão do neurônio) de cada preditor para a variável são apresentados na Figura 3.

Figura 3. Importância relativa (média e intervalo de confiança de 95%) dos preditores para a variável de resposta estimada a partir dos pesos vencedores da rede neural artificial (RNA) por meio do método de Olden. Foram criadas 147 RNAs com diferentes pesos iniciais, e a importância dos preditores foi calculada e armazenada para permitir o cálculo de médias e intervalos de confiança. Fl_total, flores totais; Ab_fl, abortamento de flores; Ab_vg, abortamento de vagens; Ovl_vg, óvulos por vagem; Ab_ovl, abortamento de óvulos; e pmg, peso médio do grão (g).

Fonte: Autora (2024).



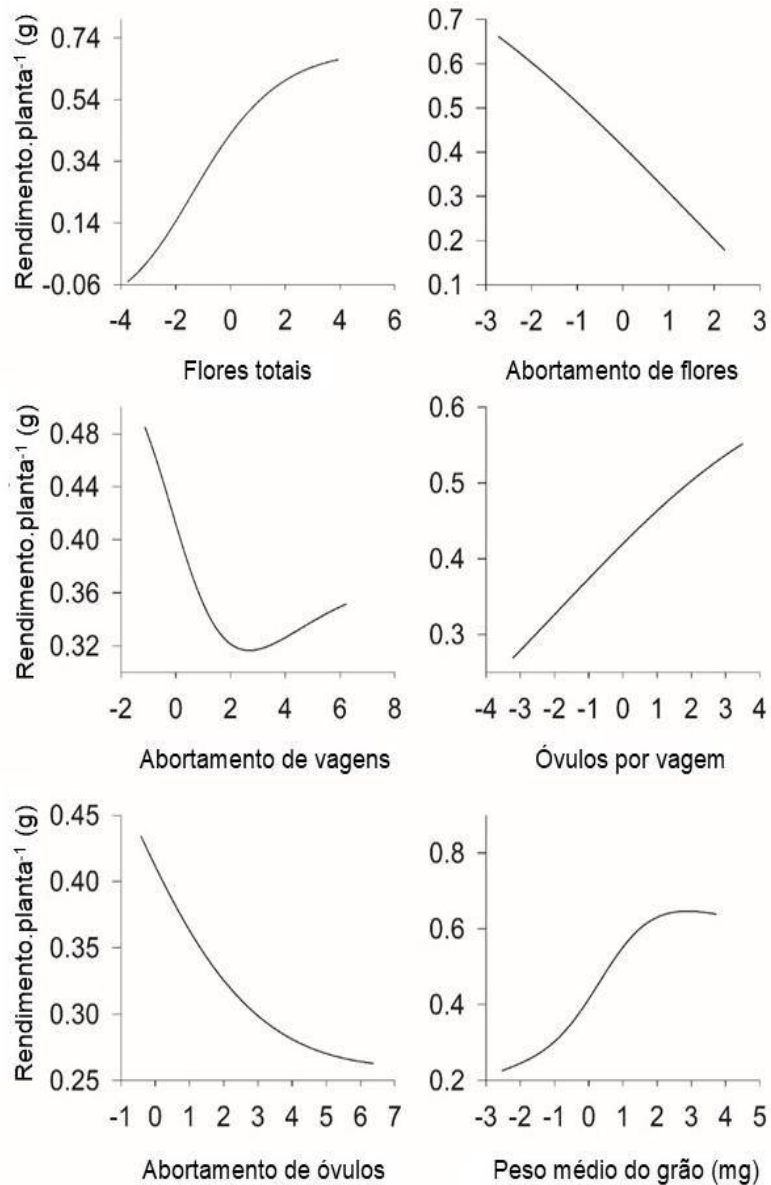
O peso médio do grão, número de flores por planta e o número de óvulos por vagem apresentaram correlações positivas e significativas com o rendimento das plantas de soja (Figura 3). Já o abortamento de flores, má formação das vagens e número de óvulos abortados por vagem apresentaram correlações negativas e significativas com o rendimento

das plantas de soja (Figura 3). O componente de produção que mais afetou o rendimento das plantas de soja foi o peso médio do grão (Figura 3).

Na Figura 4 são apresentadas as variações do rendimento das plantas de soja em função da variação dos preditores da RNA selecionada. Verificou-se que a quanto maiores o número por planta e de óvulos por planta maiores foram os rendimentos das plantas de soja (Figura 4). Quanto maiores foram os abortamentos de flores e óvulos menores foram os rendimentos das plantas de soja (Figura 4). Inicialmente com o aumento do peso médio grão as plantas apresentaram maior rendimento até que o rendimento atingiu um valor máximo (Figura 4). A partir desse máximo o aumento do peso do grão não afetou o rendimento das plantas (Figura 4). Inicialmente com o aumento da taxa de abortamento de vagens ocorreu redução do rendimento das plantas até um valor mínimo (Figura 4). A partir desse mínimo o aumento da taxa de abortamento das vagens pouco afetou o rendimento das plantas (Figura 4).

Quanto maiores foram os abortamentos de flores e óvulos menores foram os rendimentos das plantas de soja. Inicialmente com o aumento do peso médio grão as plantas apresentaram maior rendimento até que o rendimento atingiu um valor máximo. A partir desse máximo o aumento do peso do grão não afetou o rendimento das plantas. Inicialmente com o aumento da taxa de abortamento de vagens ocorreu redução do rendimento das plantas até um valor mínimo. A partir desse mínimo o aumento da taxa de abortamento das vagens pouco afetou o rendimento das plantas.

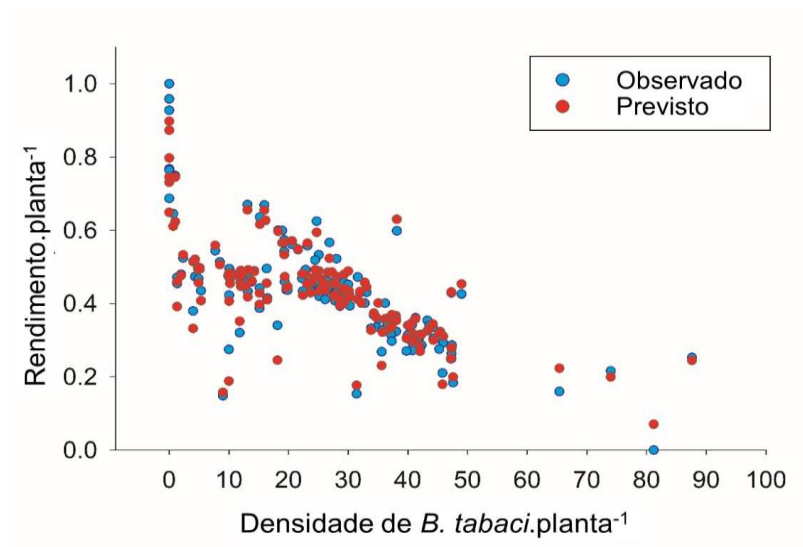
Figura 4. Gráficos de dependência parcial da rede vencedora mostrando a variação média da saída (Rendimento das plantas de soja) em relação aos níveis das variáveis de entrada (flores totais, flores abortadas, vagens abortadas, óvulos abortados, óvulos por vagem, peso médio de um grão), enquanto as outras variáveis de entrada são fixadas em seus valores médios.



Fonte: Autora (2024).

As previsões do modelo para o rendimento das plantas de soja sob três fases de infestação de ninfas de *Bemisia tabaci* coincidiram com 96% dos valores observados (Figura 5) mostrando assim a alta capacidade preditiva do modelo.

Figura 5. Rendimento previstos e observados das plantas de soja sob três fases de infestação de ninfas de *Bemisia tabaci*. A variável Y foi reescalada de 0 a 1, onde $1 \approx 17,15$ *Bemisia tabaci*. planta⁻¹.



Fonte: Autora (2024).

14. DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho revelaram o impacto significativo do ataque de *B. tabaci* sobre o rendimento das plantas de soja. A mosca branca prejudica o desenvolvimento das plantas ao se alimentar da seiva do floema. Durante o processo de alimentação, os danos indiretos causam o desenvolvimento de fumagina, que diminui a capacidade fotossintética das plantas e a pode transmitir vírus às plantas (CRUZ e BALDIN, 2017). Esse processo de sugar a seiva da planta, causa enfraquecimento e murchamento da mesma, e consequentemente, reduzirá a taxa de crescimento da planta, e afetando seu rendimento (BERLINGER, 1986).

As análises de regressão realizadas para avaliar a relação entre a densidade de *B. tabaci* e o rendimento das plantas de soja nos estágios de desenvolvimento das plantas de soja mostraram que a praga teve um impacto significativamente prejudicial em ambos os estágios. A curva de regressão mostrou uma inclinação mais acentuada no estágio vegetativo, sugerindo que as plantas jovens são mais suscetíveis aos ataques da mosca branca. As diferenças na capacidade de recuperação das plantas em diferentes fases de desenvolvimento podem estar associadas a esse padrão, já que o ataque de mosca branca pode estar presente nas diferentes fases de crescimento da cultura (BISWAS, 2013). Estabelecer a correlação precisa entre o grau de infestação de uma praga e a subsequente diminuição na produção

torna-se o ponto de partida primordial ao determinar os limites apropriados para o controle econômico em diversas culturas agrícolas (PADILHA et al., 2021). Portanto, a vigilância contínua da presença de *B. tabaci* durante as fases iniciais de crescimento da cultura da soja se revela de extrema importância para evitar a instauração de níveis elevados de infestação e os danos irreversíveis à planta (PADILHA et al., 2021).

Nosso estudo selecionou um modelo preditivo, de acordo com o RMSEv para prever a rendimento de soja em massa de grãos em função dos componentes de produção. A utilização de redes neurais artificiais (RNAs) permite compreender as correlações complexas existentes entre os preditores e a variável repostada (FARIAS et al., 2022). O número ideal de neurônios na camada oculta das RNAs deve ser grande o suficiente para memorizar os dados de treinamento e pequeno o suficiente para ter sucesso na previsão de dados (ALEMU et al., 2018). A configuração da RNA selecionada continha os dados dos componentes reprodutivos, quatro neurônios na camada oculta e apenas um neurônio na camada de saída. Redes neurais artificiais são ferramentas úteis para simular situações que ocorrem nos campos de soja, como o ataque de insetos. As RNAs podem ser usadas para auxiliar o produtor no processo de tomada de decisão de controle, ajudando a otimizar processos e prever custos e produtividade (KUJAWA e NIEDBAŁA, 2021).

Os resultados da análise de importância relativa dos preditores mostraram que o componente de produção mais influente no rendimento das plantas de soja foi o peso médio do grão. O que demonstra a importância da qualidade e tamanho dos grãos na produtividade da cultura da soja. O peso das sementes está diretamente ligado a produtividade, além disso eles também são relacionados a fatores como altura das plantas (BOROWSKA e PRUSIŃSKI, 2021). Os diferentes níveis de intensidade de ataque de *B. tabaci* podem afetar negativamente o peso dos grãos de soja, e conseqüentemente a produção da cultura (PADILHA et al., 2021). Além disso, outros fatores mostraram correlações positivas com o rendimento, sendo eles o número de flores por planta e o número de óvulos por vagem. Já o abortamento de flores e de óvulos por vagem apresentaram correlações negativas. Era de se esperar que esses fatores tivessem esse comportamento, visto que as flores presentes nas plantas geram as vagens e quanto mais flores mais vagens. O mesmo serve para o número de óvulos por vagens, quanto mais óvulos, mais grãos. Esses fatores causam incremento no rendimento. O abortamento de flores por outro lado afeta negativamente o rendimento por se perderem essas flores que se tornariam vagens com grãos. Similarmente, o abortamento de óvulos afeta o rendimento das plantas de soja por essa redução no potencial

de produção de grãos.

Não há estudos associando diretamente o ataque de *B. tabaci* ao abortamento de flores de soja. Sabe-se se a mosca branca é capaz de transmitir alguns vírus que são prejudiciais as plantas de soja, como o Geminivírus (VARMA et al., 2011) e o Tobacco Yellow Crinkle Virus (LEYVA et al., 2019) que podem causar danos as plantas como o abortamento de flores. No entanto, insetos sugadores podem causar abortamento de flores e vagens na soja, pela sua intensa sucção de seiva e pela injeção de toxinas durante a alimentação (NEVES et al., 2022). Esse é o primeiro trabalho que mostra que *B. tabaci* é capaz de causar abortamento de flores e óvulos em plantas de soja.

Este estudo mostrou que o ataque de *B. tabaci* afeta as características e o rendimento das plantas de soja. Uma compreensão mais profunda das interações entre os componentes de produção e rendimento foi possível com o uso da abordagem de redes neurais artificiais. Essas descobertas são úteis para a criação de métodos de manejo que reduzam o impacto da mosca branca na produtividade da soja.

15. CONCLUSÃO

Esse trabalho mostrou resultados relevantes para a compreensão do impacto significativo do ataque de *B. tabaci* sobre as plantas de soja e seu rendimento. Foi observado efeito significativo negativo da densidade de *B. tabaci* atacando as plantas durante os estágios vegetativo e reprodutivo da soja, sobre a área foliar da planta (cm^2) e rendimento (g de grãos por planta). O peso médio do grão, número de flores por planta e o número de óvulos por vagem apresentaram correlações positivas e significativas com o rendimento das plantas de soja. Já o abortamento de flores, má formação das vagens e número de óvulos abortados por vagem apresentaram correlações negativas e significativas com o rendimento das plantas. O componente de produção que mais afetou o rendimento das plantas de soja foi o peso médio do grão. As previsões do modelo para o rendimento das plantas de soja sobre três fases de infestação de ninfas de *B. tabaci* coincidiram com 96% dos valores observados, mostrando assim a alta capacidade preditiva do modelo. Esses resultados preenchem a lacuna do conhecimento de como o ataque de ninfas de mosca branca podem afetar a planta de soja. Essas informações subsidiam os produtores e técnicos a planejar o controle efetivo de mosca branca na soja, principalmente no estágio vegetativo onde a planta tem menos tolerância ao ataque.

REFERÊNCIAS

- ALEMU, H. Z.; WU, W.; ZHAO, J. Feedforward neural networks with a hidden layer regularization method. **Symmetry**, v. 10, n. 10, p. 525, 2018. <https://doi.org/10.3390/sym10100525>
- ARNEMANN, J. A.; POZEBON, H.; MARQUES, R. P.; FERREIRA, D. R.; PATIAS, L. S.; BEVILAQUA, J. G.; MORO, D.; FORGIARINI, S. E.; CAMPOS, J. V. L.; GUEDES, J. V. C.; FELTRIN, N.; CARLI, C.; STURMER, G. R.; FERREIRA, P. E. Managing whitefly on soybean. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 9, p. 41, 2019. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n9p41>
- BECK, M. W. NeuralNetTools: Visualization and analysis tools for neural networks. **Journal of statistical software**, v. 85, n. 11, p. 1, 2018. <https://doi.org/10.18637/jss.v085.i11>
- BERGMEIR, C. N.; BENÍTEZ SÁNCHEZ, J. M. Neural networks in R using the Stuttgart Neural Network Simulator: RSNNS. **Journal of Statistical Software**, v. 46, n. 7, p. 1–26. <https://doi.org/10.18637/jss.v046.i07>
- BERLINGER, M. J. Host plant resistance to *Bemisia tabaci*. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 17, n. 1-2, p. 69-82, 1986. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(86\)90028-9](https://doi.org/10.1016/0167-8809(86)90028-9)
- BISWAS, G. C. Insect pests of soybean (*Glycine max* L.), their nature of damage and succession with the crop stages. **Journal of the Asiatic Society of Bangladesh, Science**, v. 39, n. 1, p. 1-8, 2013.
- BORELLA, L. C.; BORELLA, M. R. C.; CORSO, L. L. Climate analysis using neural networks as supporting to the agriculture. **Gestão & Produção**, v. 29, p. e06, 2022. <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2022v29e06>
- CARTER, O. G. Breeding soybeans for special uses. In: **World Soybean Research Conference III**. Boca Raton: CRC Press, 2022. p. 374-379.
- CHEN, K. I.; ERH, M. H.; SU, N. W.; LIU, W. H.; CHOU, C. C.; CHENG, K. C. Soyfoods and soybean products: from traditional use to modern applications. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 96, p. 9-22, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4330-7>
- COSTA, N. L.; LIMA, M. D.; BARBOSA, R. Evaluation of feature selection methods based on artificial neural network weights. **Expert Systems with Applications**, v. 168, p. 114312, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114312>
- CRUZ, P. L.; BALDIN, E. L. L. Performance of *Bemisia tabaci* biotype B on soybean genotypes. **Neotropical Entomology**, v. 46, p. 210-215, 2017. <https://doi.org/10.1007/s13744-016-0445-3>
- CZEPAK, C.; COELHO, A. S. G.; REZENDE, J. M., NUNES, M. L. S., WEBER, I. D., SILVÉRIO, R. F., & ALBERNAZ-GODINHO, K. C. *Bemisia tabaci* MEAM 1

population surveys in soybean cultivation. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 166, n. 3, p. 215-223, 2018. <https://doi.org/10.1111/eea.12656>

DI FRANCO, G.; SANTURRO, M. Machine learning, artificial neural networks and social research. **Quality & quantity**, v. 55, n. 3, p. 1007-1025, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11135-020-01037-y>

FARIAS, E. S.; FARIAS, A. A.; SANTOS, R. C.; SANTOS, A. A.; PICANÇO, M. C. Forecasting the seasonal dynamics of *Trichoplusia ni* (Lep.: Noctuidae) on three Brassica crops through neural networks. **International Journal of Biometeorology**, v. 66, n. 5, p. 875-882, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02244-y>

FEDOR, P.; VAÑHARA, J.; HAVEL, J.; MALENOVSKÝ, I.; SPELLERBERG, I. Artificial intelligence in pest insect monitoring. **Systematic Entomology**, v. 34, n. 2, p. 398-400, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.2008.00461.x>

KUJAWA, S.; NIEDBAŁA, G. Artificial neural networks in agriculture. **Agriculture**, v. 11, n. 6, p. 497, 2021. <https://doi.org/10.3390/agriculture11060497>

LEYVA, R.; QUIÑONES, M.; ACOSTA, K.; PIÑOL, B.; XAVIER, C. A. D.; ZERBINI, F. M. First report of Tobacco Yellow Crinkle virus infecting the soybean crop in Cuba. **Rev Prot Veg**, v. 34, n. 2, p. 02, 2019.

NEVES, D. V. C.; LOPES, M. C.; SARMENTO, R. A.; PEREIRA, P. S.; PIRES, W. S.; PELUZIO, J. M.; PICANÇO, M. C. Economic injury levels for control decision-making of thrips in soybean crops (*Glycine max* (L.) Merrill). **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. e52411932114, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.32114>

OLDEN, J. D.; JOY, M. K.; DEATH, R. G. An accurate comparison of methods for quantifying variable importance in artificial neural networks using simulated data. **Ecological modelling**, v. 178, n. 3-4, p. 389-397, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.03.013>

PADILHA, G.; POZEBON, H.; PATIAS, L. S.; FERREIRA, D. R.; CASTILHOS, L. B.; FORGIARINI, S. E.; DANATTI, A.; BELEVIQUA, J. G.; MARQUES, R. P.; MORO, D.; ROHRIG, A.; BONES, S. A. S.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PES, L. Z.; ARNEMANN, J. A. Damage assessment of *Bemisia tabaci* and economic injury level on soybean. **Crop protection**, v. 143, p. 105542, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105542>

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 20/09/2024.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999, p. 359.

SCHUTZE, I. X.; NARANJO, S. E.; YAMAMOTO, P. T. Impact of *Bemisia tabaci* MEAM1 (Hemiptera: Aleyrodidae) on soybean yield and quality under field conditions.

Journal of Economic Entomology, v. 115, n. 3, p. 757-766, 2022.
<https://doi.org/10.1093/jee/toac026>

SYSTAT SOFTWARE INC. **SigmaPlot versão 12.5**. San Jose, California, USA. 2013.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Soybean Explorer**. 2023. Disponível em:
<https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=2222000>
Acesso em: 12/09/2023.

VARMA, A.; MANDAL, B.; SINGH, M. K. Global Emergence and Spread of Whitefly (*Bemisia tabaci*) Transmitted Geminiviruses. In: THOMPSON, W. (Ed.) **The Whitefly, Bemisia tabaci (Homoptera: Aleyrodidae) Interaction with Geminivirus-Infected Host Plants**. Dordrecht: Springer, 2011 p. 205-292. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1524-0_10

WILLIS, K. **State of the world's plants 2017**. Londres: Royal Botanic Gardens Kew, 2017, p. 96.

CAPÍTULO IV

TOMADA DE DECISÃO PARA CONTROLE DE TRIPES EM LAVOURAS DE SOJA UTILIZANDO PRINCÍPIOS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO

RESUMO

Na agricultura de precisão, as subáreas de campos com características semelhantes são chamadas de zonas de manejo e os insumos são aplicados de forma semelhante nessas zonas. Esta noção de zonas de manejo é aplicável a campos de soja de alta produção, onde os tripes são um problema emergente, levando a perdas de até 15%. As zonas de manejo são uma estratégia de manejo agrícola que pode ser utilizada na tomada de decisões para o controle de tripes nas lavouras de soja. Assim, foi realizado um estudo de dois anos em campos comerciais de soja com o objetivo de desenvolver um sistema de tomada de decisão para o controle de tripes da soja utilizando zonas de manejo. Foram estabelecidos e avaliados três programas de controle: (CI) controle convencional com uso de inseticidas em todo o campo; (IPM-CS) plano amostral convencional + pulverização ao atingir o nível de dano econômico (NDE; 3,43 tripes/amostra; NEVES et al., 2022); e (IPM-MZ) pulverização apenas em áreas específicas do campo onde a densidade de tripes atingiu o NDE. A decisão de controle alcançada utilizando os programas IPM-CS e IPM-MZ foi 3x menor que a do CI, que incorreu em 75% de erros de decisão. Além disso, a decisão de pulverizar inseticidas com base na análise dos dados relativos ao CI também foi incorreta. As decisões do programa IPM-CS em 8,5% (3,6% de controle e 4,9% dos não controle) do campo, estavam incorretas. O custo total do programa CI (US\$ 11,4 ha⁻¹) foi superior ao dos programas IPM-CS e IPM-MZ (US\$ 3,2 ha⁻¹). Portanto, devido às suas vantagens técnicas, econômicas e ambientais, o estabelecimento de zonas de manejo parece digno de incorporação em sistemas integrados de tomada de decisão de manejo de tripes para campos de soja.

Palavras-Chave: *Glycine max*; Zonas de manejo; Manejo integrado de pragas; Erros de controle; Custo de controle.

DECISION-MAKING FOR THRIPS CONTROL IN SOYBEAN FIELDS USING PRECISION AGRICULTURE PRINCIPLES

ABSTRACT

In precision agriculture, sub-areas within fields that share similar characteristics are known as management zones, and agricultural inputs are applied uniformly within these zones. This concept is applicable to high-yield soybean fields, where thrips have become an emerging problem, causing yield losses of up to 15%. Management zones represent an agricultural strategy that can support decision-making for thrips control in soybean production. A two-year study was conducted in commercial soybean fields with the objective of developing a decision-making system for thrips management using management zones. Three control programs were established and evaluated: (CI) conventional control with insecticide applications across the entire field; (IPM-CS) conventional sampling plan + spraying when the economic damage level (EDL; 3.43 thrips/sample; Neves et al., 2022) was reached; and (IPM-MZ) spraying only in specific areas of the field where thrips density reached the EDL. Control decisions made under the IPM-CS and IPM-MZ programs were three times fewer than those under CI, which resulted in a 75% decision error. In addition, insecticide spraying decisions based solely on CI data analysis were also incorrect. Decisions made under the IPM-CS program were wrong in 8.5% of the field area (3.6% over-control and 4.9% under-control). The total cost of the CI program (US\$ 11.4 ha⁻¹) was higher than the costs of the IPM-CS and IPM-MZ programs (US\$ 3.2 ha⁻¹). Therefore, due to their technical, economic, and environmental advantages, the use of management zones appears to be a valuable component for incorporation into integrated decision-making systems for thrips management in soybean fields.

Keywords: *Glycine max*; Management zones; Integrated pest management; Control errors; Control cost.

16. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L) Merrill) é a leguminosa mais plantada no mundo (USDA, 2022; PAGANO e MIRANSARI, 2016; SCHIMMELPFENNIG e EBEL, 2011). A produção mundial de soja foi de 402,787 milhões de toneladas em 2022/2023 e aumentará 8% na próxima safra (USDA, 2022). Uma demanda constante para a produção mundial de alimentos é alcançar altos rendimentos, reduzir custos e preservar o meio ambiente durante o cultivo (LILIANE e CHARLES, 2020); essa demanda incentiva a adoção da agricultura de precisão. Os agricultores adotaram ferramentas tecnológicas de agricultura de precisão, como GPS em tratores para exploração, aplicações de taxa variável e mapeamento de rendimento em soja (SCHIMMELPFENNIG e EBEL, 2011; THOMPSON et al., 2021). No entanto, alguns desafios limitam a adoção de sistemas de agricultura de precisão, tais como o elevado custo, a falta de competências, juntamente com a ausência de serviços agrônômicos qualificados, a amostragem inadequada, a não disponibilidade de recomendações específicas do local e o mau uso da informação (ROBERT, 2002; PATHAK et al., 2019). Além disso, a utilização de princípios de agricultura de precisão no controle de pragas também é limitada. Os campos de soja neotropicais oferecem um cenário promissor para a utilização de agricultura de precisão devido à sua grande extensão e presença em diferentes biomas, onde é atacada por diferentes espécies-chave de pragas com perdas significativas.

Tripes (Thysanoptera: Thripidae) são considerados pragas emergentes e há relatos de que espécies pertencentes aos gêneros *Caliothrips* e *Frankliniella* danificam a soja (GAMUNDI e PEROTTI, 2009; SANTOS et al., 2021). Nos últimos anos, as densidades de tripes da soja aumentaram, causando perdas de até 15% (GONZÁLEZ et al., 2017; SANTOS et al., 2021). Os tripes estão presentes durante todo o período de cultivo da soja (SELIG et al., 2016) e causam danos ao sugar o conteúdo celular, injetar toxinas e atuar como vetores de vírus vegetais (GENT et al., 2004; PEREIRA et al., 2020).

Nos sistemas de agricultura de precisão, a variação nas características entre e dentro dos campos influencia a tomada de decisões nas culturas. Nestes sistemas, os insumos agrícolas são utilizados de acordo com a necessidade das plantas em cada local/área do campo (SINGH, 2010; DUHAN et al., 2017). Estes sistemas contribuem para aumentar o rendimento das culturas, reduzir custos e diminuir o impacto ambiental dos insumos agrícolas (WHELAN e TAYLOR, 2013; DUHAN et al., 2017). As características de cada campo podem ser avaliadas pelos seguintes métodos no contexto da agricultura de precisão:

observação direta, sensores, monitoramento de produtividade e ferramentas como sistemas de posicionamento global (GPS) e sistemas de informação geográfica (GIS) (BASSO et al., 2001; BONGIOVANNI e LOWENBERG-DEBOER, 2004). Essas ferramentas são utilizadas para obter as informações necessárias à construção dos mapas.

Os mapas resultantes desses métodos mostram a variação das características do campo e são desenvolvidos a partir dos dados coletados e de suas coordenadas geográficas de posicionamento. A utilização dessas ferramentas permite o reconhecimento de subáreas dos campos de produção com características semelhantes, denominadas zonas de manejo e que recebem insumos agrícolas semelhantes (GAVIOLI et al., 2019; MÉNDEZ-VÁZQUEZ et al., 2019). Esta noção parece particularmente útil para sistemas de produção maiores de produtos agrícolas valiosos, como a soja.

O alto dinamismo das populações de pragas torna o mapeamento dos fatores de zoneamento e das variáveis de resposta complexo e trabalhoso, consumindo mais recursos (MÉNDEZ-VÁZQUEZ et al., 2019). Além disso, a divisão dos campos de cultivo para a gestão de pragas exige a consideração de fatores de zoneamento temporalmente dinâmicos, em vez de fatores estáveis (MÉNDEZ-VÁZQUEZ et al., 2019). Como as pragas não têm as características de permanecerem uniformes ao longo do tempo, o mesmo princípio das zonas de manejo poderia ser entendido como zonas de aplicação de inseticidas para controle de pragas para receber insumos agrícolas semelhantes.

A implementação de zonas homogêneas para a gestão de pragas na agricultura envolve a identificação de áreas dentro de um campo que partilham características semelhantes ou exibem padrões consistentes de infestações. A distribuição espacial das populações de insetos pode ser agregada, uniforme ou aleatória (LIMA et al., 2018; PEREIRA et al., 2020). Os padrões espaciais dos insetos manifestam características biológicas inerentes (por exemplo, alimentação, acasalamento, dispersão) que são influenciadas pelas plantas hospedeiras e pelo ambiente (PEREIRA et al., 2020).

Apesar da importância dos tripses, não existem estudos sobre a utilização de zonas de manejo para essas espécies-praga. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi propor um sistema de tomada de decisão para controle de tripses utilizando zonas de manejo no campo. Espera-se que um sistema de tomada de decisão para controle de tripses utilizando zonas de manejo seja mais vantajoso do que o controle convencional.

17. MATERIAIS E MÉTODOS

17.1 Campos de soja

Os dados utilizados neste estudo foram coletados de quatro campos comerciais de soja cultivados ao longo de dois anos (safras 2017–2018 e 2018–2019) no estado do Tocantins, Brasil. Esses campos estão inseridos no bioma cerrado, tipo savana, que apresenta área significativa de cultivo de soja sob clima tropical com verões chuvosos e invernos secos (ALVARES et al., 2013) (Tabela 1).

Tabela 1. Estudos em diferentes áreas, locais, tamanhos e épocas são indicados abaixo.

Lavoura	Localização	Area (ha)	Época
A	11°55'23,80"S e 49°41'40,70"O	24,88	Abril a agosto 2017
B	11°48'10,30"S e 49°00'29,30"O	18	Dezembro 2017 a março 2018
C	11°49'2,80"S e 49°39'1,40" O	7,12	Junho a setembro 2018
D	11°45'20,90"S e 48°51'24,20"O	15,84	Novembro 2018 a março 2019

Fonte: Autora (2024).

A cultivar M 8808 IPRO desenvolvida com tecnologia Intacta RR2 Pro® com crescimento determinado foi utilizada neste estudo. Essas cultivares foram escolhidas por apresentarem resistência à lagarta principal da soja, resistência ao acamamento e tolerância ao herbicida glifosato para manejo de plantas daninhas. Adotou-se espaçamento de 0,45 m entre linhas e foram mantidas 13 plantas por metro de linha. As práticas agronômicas foram realizadas conforme recomendações (SEDIYAMA et al., 2015).

17.2 Programas de controle de pragas

Foram simulados três tratamentos para controle de tripes em soja. O primeiro programa consistiu no controle convencional com pulverizações de inseticida em toda a área (CI). Esta foi escolhida por ser a prática mais comumente utilizada pelos agricultores no cerrado brasileiro (ZALUCKI et al., 2009; BUENO et al., 2021). O segundo programa é a amostragem convencional proposta por Santos et al. (2021) para tripes em soja e com base no nível de dano econômico (Nível de Dano Econômico (NDE) = 3,43 tripes/amostra;

NEVES et al., 2022), conforme determinado por Neves et al. (2022) (IPM-CS). Esse sistema envolveu a pulverização de todo o campo quando a densidade de tripes atingisse níveis iguais ou superiores ao NDE (BACCI et al., 2008; PEDIGO et al., 2021). O terceiro programa envolveu a pulverização de acordo com zonas de manejo (IPM-MZ). Neste programa, as pulverizações foram iniciadas para a subárea do campo onde a densidade de tripes era igual ou superior ao NDE.

17.3 Coleta de dados

A densidade de tripes foi avaliada batendo as plantas e mantendo uma bandeja plástica branca (32 x 24 x 7 cm) embaixo para contagem dos insetos. A unidade amostral foi constituída de uma planta por batida. Esta técnica é adequada para estimar a densidade de tripes na soja (SANTOS et al., 2021). No campo A, as densidades de tripes foram estimadas quando as plantas atingiram os estádios fenológicos da soja de acordo com a Escala BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical Industry; BLEIHOLDER et al., 2001) 16 106 (Folha trifoliolada no 5º nó desdobrada), 65 605 (floração plena: cerca de 50% das flores abertas), 73 703 (início da semente/início do enchimento das vagens) e 77 707 (enchimento avançado das vagens). No campo B, as densidades foram avaliadas quando as plantas atingiram os estádios 15 105 (folha trifoliolada no 4º nó desdobrada), 16 106, 65 605, 73 703 e 77 707. No campo C, as densidades foram estimadas quando as plantas estavam nos estádios 15 105, 16 106, 65 605, 71 701 (início do desenvolvimento das vagens), 73 703 e 77 707. Por fim, no campo D, foram avaliadas as densidades quando as plantas atingiram os estádios 15 105, 16 106, 65 605, 71 701, 75 705 (vagem completa), 73 703 e 77 707. A posição de cada planta foi georreferenciada por meio de GPS (Garmin Etrex Vista; Garmin, Lenexa, KS, Estados Unidos). No programa IPM-CS, as densidades de tripes foram determinadas através da inspeção de 40 plantas por campo. Santos et al., (2021) relataram que esta amostragem é adequada para planos convencionais para avaliar densidades de tripes na soja. No programa IPM-MZ, 200 plantas (SANTOS et al., 2022) por talhão de soja foram inspecionadas em grade regular para determinação da densidade de tripes. Em cada ponto foi avaliada uma planta; esta planta foi marcada com fita de identificação e a mesma planta foi avaliada ao longo da safra. Isso foi feito para garantir uma amostragem adequada para o mapeamento da distribuição espacial dos insetos nos campos para estabelecer zonas de manejo (CID-GARCIA e IBARRA-ROJAS, 2019; ROSADO et al., 2015).

17.4 Estabelecimento de zonas de manejo em lavouras de soja

Os semivariogramas foram estimados utilizando dados de densidades de tripes em 200 plantas por campo (SANTOS et al., 2022; PEREIRA et al., 2020). Os dados empíricos foram ajustados aos modelos teóricos Gaussiano, Exponencial, Esférico e Linear. No total, foram construídos 66 modelos, e o mais adequado para cada conjunto de dados foi selecionado com base na menor soma dos quadrados dos resíduos (RSS), maior coeficiente de determinação (R^2) e nos parâmetros de validação cruzada [menores valores de intercepto (β_0) e maior inclinação da curva (β_1)]. Todos os modelos selecionados eram isotrópicos nas direções 0° , 45° , 90° e 135° e apontavam para o norte magnético. Posteriormente, esses dados foram interpolados pelo método de krigagem indicadora (krigagem indicatriz) para determinação das densidades de tripes nas áreas não amostradas. O mapeamento da distribuição espacial de tripes nos campos em cada estação foi feito usando o software GS+ Geostatistics for Environmental Sciences (versão 7.0; Gamma Design Software, Plainwell, MI, Estados Unidos) (ROBERTSON, 1998). Foram estabelecidas duas zonas de manejo, uma quando a densidade de tripes era inferior ao nível de dano econômico (NDE = 3,43 tripes/amostra; NEVES et al., 2022) e outra quando a densidade de tripes era igual ou superior ao NDE.

17.5 Determinação de características para comparação de programas de controle de tripes

Foram determinados erros na tomada de decisão, tempo de amostragem e custos incorridos para cada um dos métodos de manejo. No programa CI, foi assumido que o inseticida será aplicado em toda a área do campo (ZALUCKI et al., 2009; BUENO et al., 2021). No programa IPM-CS, considerou-se que a aplicação de inseticida é realizada em todo o campo quando a densidade da praga for igual ou superior ao NDE de 3,43 tripes/amostra (NEVES et al., 2022; PEDIGO et al., 2022). No programa IPM-MZ, assumiu-se que os inseticidas seriam aplicados apenas em áreas onde a densidade da praga fosse igual ou superior ao NDE (GAVIOLI et al., 2019; MÉNDEZ-VÁZQUEZ et al., 2019; NEVES et al., 2022).

O cálculo do tamanho das áreas para controle de pragas nos mapas de distribuição

espacial foi realizado utilizando o procedimento de manipulação de imagens dos pacotes BiocManager (MORGAN e RAMOS, 2022) e EBImage (PAU et al., 2010), do software RStudio: Integrated Development for R (Boston, MA, Estados Unidos) (RSTUDIO TEAM, 2020). Os mapas foram segmentados em duas regiões, onde o branco representava densidades iguais ou maiores que o NDE e o preto quando as densidades de tripes eram menores que o NDE e cada parte foi calculada em pixels (SILVA et al., 2017). A área a ser tratada foi calculada através da Equação (1) a partir da figura representada em pixels. A área não controle (ha) foi calculada como a diferença entre a área total e a área tratada.

$$(1) CA = (FAR_i \times ACI) \div TIA$$

Onde CA é a área da lavoura (ha) onde é indicado o controle de pragas; FAR = área total (ha) da lavoura de soja; i = lavoura de soja (A, B, C ou D); ACI = Imagem onde o controle de pragas é indicado (pixels); e TIA = área total da imagem (pixels).

A área percentual com ou sem indícios de controle de tripes é calculada através das fórmulas (2) e (3).

$$(2) PCT_{ijz} = (100 \times CtA_{ijz}) \div FAR_i$$

Onde PCT é a porcentagem da área da lavoura onde o controle de pragas é indicado; i = lavoura de soja (A, B, C ou D); j = estágios das plantas de soja; z = abordagem de manejo (CI, IPM-CS ou IPM-MZ); CtA = área (ha) do talhão onde o controle de tripes é indicado; e FAR = área total (ha) da lavoura de soja.

$$(3) PNC_{jz} = (100 \times CNA_{ijz}) \div FAR_i$$

Onde PNC é a porcentagem da área da lavoura onde o controle de pragas não foi indicado; i = lavoura de soja (A, B, C ou D); j = estágios das plantas de soja; z = abordagem de manejo (CI, IPM-CS ou IPM-MZ); NCA = área (ha) do talhão onde o controle de tripes não é indicado; e FAR = área total (ha) da lavoura de soja.

O programa IPM-MZ foi utilizado como padrão para determinar erros de tomada de decisão porque foram determinadas as características de cada localização de campo (GAVIOLI et al., 2019; MÉNDEZ-VÁZQUEZ et al., 2019). Quando as decisões dos programas CI e IPM-CS foram diferentes daquelas selecionadas pelo programa IPM-MZ, as decisões de CI e IPM-CS foram consideradas incorretas. Os percentuais da área onde ocorreram erros na decisão de controle pelos programas CI e IPM-CS foram calculados através das fórmulas (4) e (5).

$$(4) CE_{ijz} = (100 \times CEA_{ijz}) \div FAR_i,$$

Onde CE é a porcentagem da lavoura onde ocorreram erros na decisão de controlar

as pragas; i = lavoura de soja (A, B, C ou D), j = estágios das plantas de soja; z = programas de controle (CI ou IPM-CS); CEA = área (ha) da lavoura onde ocorreram erros na decisão de controlar as pragas; e FAR = área total (ha) da lavoura de soja.

$$(5) NCE_{ijz} = (100 \times NCEA_{ijz}) \div FAR_i,$$

Onde NCE = porcentagem da lavoura onde ocorreram erros na decisão de controle porque a praga não foi controlada; i = lavoura de soja (A, B, C ou D); j = estágios das plantas de soja; z = programas de controle (CI ou IPM-CS); $NCEA$ = área (ha) da lavoura onde ocorreram erros na decisão de controle de pragas porque a praga não foi controlada; e FAR = área total (ha) da lavoura de soja.

Os tempos de amostragem foram registrados para avaliar as densidades de tripses em cada campo utilizando os programas IPM-CS (40 plantas; SANTOS et al., 2021) e IPM-MZ (200 plantas; SANTOS et al., 2022). Em seguida, foram calculados os custos amostrais, de controle e totais dos três programas. Os custos da amostragem incluíram materiais (lápiz, borracha, papel e prancheta) e mão de obra, calculados segundo SANTOS et al. (2021). Os custos de controle incluíram produtos químicos (inseticidas e adjuvantes) e pulverização com trator, calculados conforme NEVES et al. (2022) (Cotação do dólar a 5,45 R\$). Por fim, o custo total foi obtido somando-se o custo amostral ao custo controle. Considerando-se a frequência de aplicação de 3 aplicações (NEVES et al., 2022). Todas as figuras gráficas foram criadas utilizando o software Sigmaplot 12.5 (SYSTAT SOFTWARE INC., 2013).

17.6 Análise de dados

O software R (R CORE TEAM, 2024) foi utilizado para análise dos dados. Os dados das características estudadas em função dos programas de controle foram submetidos à análise de variância ($\alpha = 0,05$). As médias características foram comparadas pelo teste de Scott-Knott em $P < 0,05$ (SCOTT e KNOTT, 1974; JELIHOVSCHI et al., 2021). Este teste pode ser aplicado a dados que não possuem distribuição de frequência normal (BORGES e FERREIRA, 2003; JELIHOVSCHI et al., 2021). Os dados das características avaliadas apresentaram homogeneidade de variância, mas não apresentaram distribuição normal de frequência.

18 RESULTADOS

Dos 66 modelos estimados para determinar a distribuição espacial de tripes em lavouras de soja, 22 foram selecionados. Dos 22 modelos selecionados, 21 tiveram efeito pepita e patamar e um teve efeito pepita. Dos modelos com efeito pepita e patamar, 14 eram gaussianos e sete eram exponenciais. Todos os modelos selecionados com efeito pepita e patamar mostraram uma forte dependência espacial (Grau de dependência espacial (GDE) <75%). Os alcances dos modelos de distribuição espacial para tripes em campo variaram de 9,35 a 53,34 m (Tabela 2).

Tabela 2. Características dos modelos de distribuição espacial de tripes em quatro lavouras de soja ao longo de dois anos.

Lavoura	Estágio fenológico	Características dos modelos de distribuição espacial [†]							
		Modelo	β_1	β_0	RSS	C ₀	C ₀ +C	Alcance (m)	GDE
A	V5	Exponencial	-0,159	2,02	0,077	0,129	2,265	32,4	0,943
	R2	Gaussiano	0,461	1,47	3,00	0,87	5,47	51,44	0,841
	R5	Exponencial	0,312	5,85	12,8	4,69	21,25	29,8	0,779
	R6	Gaussiano	0,444	3,48	9,66	2,42	22,95	53,34	0,895
B	V4	Gaussiano	0,678	0,91	3,78	0,51	4,428	31,7	0,885
	V5	Gaussiano	0,799	0,81	6,23	0,54	7,896	30,48	0,932
	R2	Gaussiano	0,546	2,59	9,17	2,3	17,85	28,75	0,871
	R5	Gaussiano	0,76	0,32	0,839	0,241	2,028	28,62	0,881
	R6	Gaussiano	-0,267	0,08	0,001	0,031	0,181	19,39	0,828
C	V4	Exponencial	0,587	0,82	0,913	0,17	3,457	15,3	0,951
	V5	Exponencial	0,838	0,17	0,156	0,038	1,635	10,8	0,977
	R2	Gaussiano	0,726	0,25	0,395	0,292	2,66	9,35	0,89
	R3	-	-0,085	1,40	Efeito pepita puro				
	R5	Gaussiano	0,233	0,34	0,002	0,071	0,551	10,05	0,871
	R6	Exponencial	-0,468	7,23	22,8	2,53	17,08	12,9	0,852
D	V4	Gaussiano	-0,345	2	0,361	0,462	2,875	15,76	0,839
	V5	Gaussiano	0,346	0,76	0,695	0,346	2,256	14,03	0,847
	R2	Exponencial	0,551	0,43	0,336	0,011	1,541	46,2	0,993
	R3	Gaussiano	0,678	0,73	0,147	0,451	3,392	14,38	0,867
	R4	Exponencial	0,256	5,66	800,00	10,70	60,80	16,5	0,824
	R5	Gaussiano	-0,244	2,92	0,108	0,861	3,977	16,63	0,784
	R6	Gaussiano	0,065	0,45	0,065	0,178	0,943	28,23	0,811

[†] β_0 = Intercepto da curva, β_1 = inclinação da curva, RSS = soma de quadrado do resíduo, C₀ = efeito pepita, C + C₀ = patamar e GDE = grau de dependência espacial.

Fonte: Autora (2024).

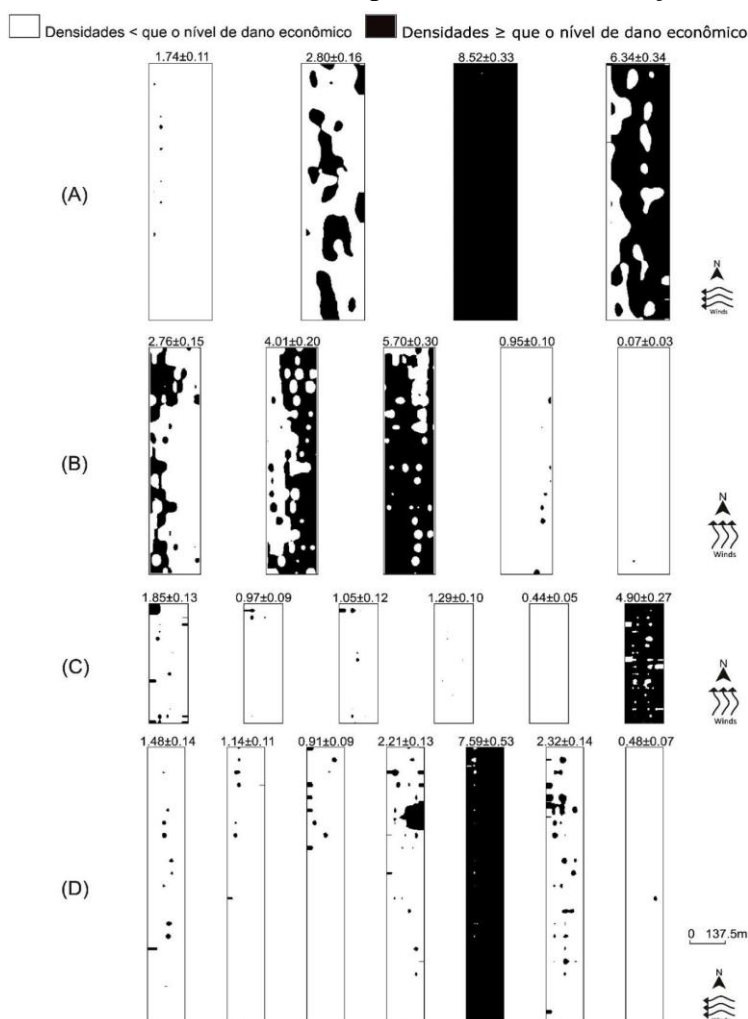
Duas zonas de manejo foram estabelecidas para cada campo, uma quando a densidade de tripes era inferior ao nível de dano econômico (NDE = 3,43 tripes/amostra; NEVES et al., 2022) (sem área controle) e quando a densidade de tripes era igual ou superior

ao NDE (área controle) (Figura 1). As densidades médias de pragas no campo variaram de 0,07 a 8,52 por amostra. Mesmo no momento de menor ocorrência, a densidade nas subáreas de campo foi superior ao nível de dano econômico (NDE = 3,43 tripes por amostra; NEVES et al., 2022). O tamanho das subáreas com densidades acima do NDE aumentou à medida que a densidade média de tripes no campo aumentou. As subáreas com densidades acima do NDE ocorreram tanto na parte central quanto nas bordas dos campos (Figura 1).

Figura 1. Mapas de distribuição espacial de tripes em lavouras comerciais de soja ao longo de 2 anos. Duas zonas de gestão, nomeadamente quando a densidade de tripes foi menor que o nível de dano econômico (NDE = 3,43 tripes/amostra; NEVES et al., 2022) (área em que o controle não é necessário), são representados por branco e quando a densidade de tripes era igual ou maior que o NDE (área em que o controle é necessário), eles são representados por preto para cada campo.

Fonte: Autora (2024).

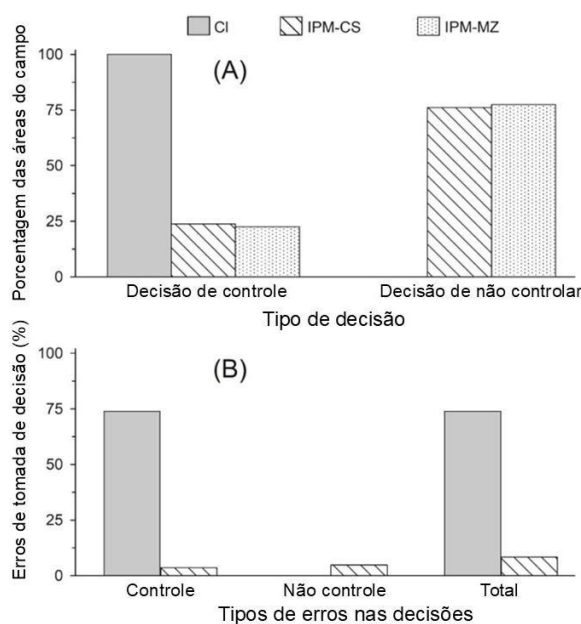
Os tamanhos das subáreas de campo onde havia indicação de controle de tripes



variaram de acordo com o programa de controle de pragas. As áreas indicadas para controle de tripes pelos programas IPM-CS e IPM-MZ foram cerca de 3x menores que aquelas indicadas pelo programa CI (Figura 2A). Em 75% das situações o indicador para iniciar a

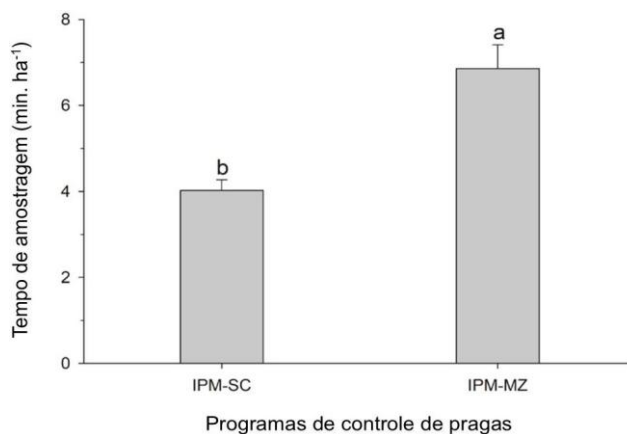
pulverização pelo programa CI estava errado. Em 8,5% dos casos, as decisões tomadas pelo programa IPM-CS foram incorretas. Destes, 4,9% dos erros foram devidos a decisões relativas à não pulverização e 3,6% foram devidos à pulverização (Figura 2B). O tempo de amostragem de tripes foi significativamente maior ($gl = 42$, $P < 0,001$) no programa IPM-MZ do que no programa IPM-CS (Figura 3). O custo amostral do programa IPM-CS foi significativamente maior ($gl = 42$, $P < 0,001$) do que o do IPM-MZ (Figura 4A). O custo de amostragem + pulverizações no programa CI foi significativamente maior ($gl = 63$, $P < 0,001$) do que nos programas IPM-CS e IPM-MZ. O custo total do programa CI foi de aproximadamente US\$ 11,4 por ha, enquanto os custos dos programas IPM-CS e IPM-MZ foram de US\$ 3,26 e US\$ 3,22 por ha, respectivamente (Figuras 4B e 4C).

Figura 2. (A) Porcentagem das áreas do campo de soja onde o controle de tripes deve ou não deve ser realizado de acordo com três abordagens: CI (programação de calendário com aplicação de inseticida em toda a área), IPM-CS (plano de amostragem convencional e nível de dano econômico [NDE = 3,43 tripes/amostra; NEVES et al., 2022]) e IPM-MZ (aplicação de controle somente na área do campo onde a densidade da praga atingiu o NDE [essas áreas são mostradas nos mapas na Figura 1]). (B) Porcentagem de áreas do campo onde ocorreram erros na decisão de controle usando os programas CI e IPM-CS; nessas comparações, o programa IPM-MZ foi utilizado como padrão.



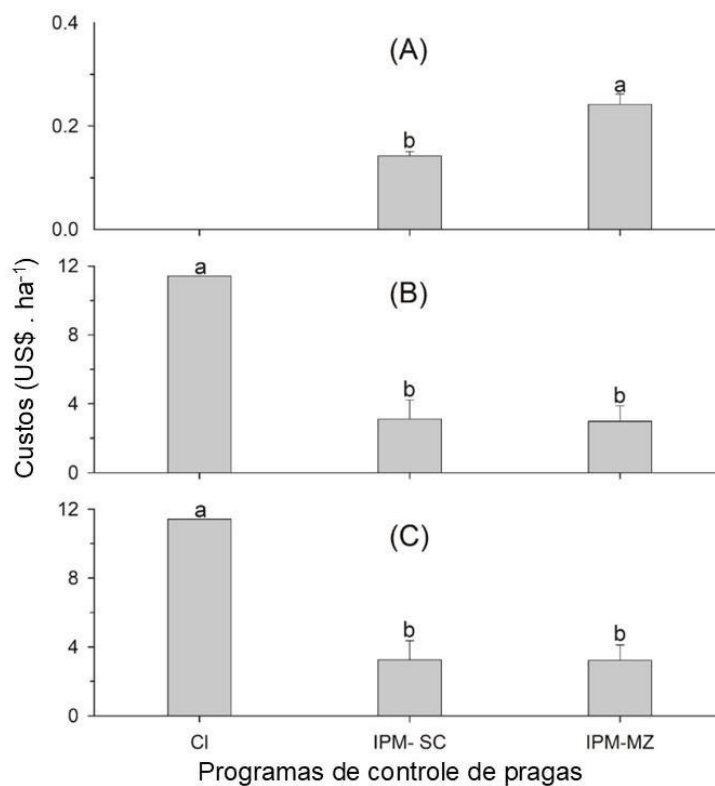
Fonte: Autora (2024).

Figura 3. Tempo (média \pm erro padrão) de amostragem de tripes em campos de soja pelo IPM-CS (plano de amostragem convencional e nível de dano econômico [NDE = 3,43 tripes/amostra; NEVES et al., 2022]) e IPM- MZ (aplicação de controle apenas na área do campo onde a densidade da praga atingiu o NDE [essas áreas são mostradas nos mapas da Figura 1]). Os histogramas seguidos de mesma letra não diferem entre si, segundo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).



Fonte: Autora (2024).

Figura 4. Custos (média \pm erro padrão) de (A) amostragem, (B) controle, e (C) total dos programas CI (calendário com aplicação de inseticidas em toda a área), IPM-CS (convencional plano de amostragem e NDE [NDE = 3,43 tripes/amostra; NEVES et al., 2022]) e IPM-MZ (aplicação de controle apenas na área de campo onde a densidade da praga atingiu o NDE [essas áreas são mostradas na Figura 1]). Os histogramas seguidos de mesma letra não diferem entre si, segundo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).



Fonte: Autora (2024).

19 DISCUSSÃO

A população de tripes apresentou distribuição espacial agregada no campo. Isso é demonstrado pelo fato de que 95% dos modelos de distribuição espacial apresentaram patamar, baixo efeito pepita e forte dependência espacial ($GDE < 75\%$) (ROSADO et al., 2015; LIMA et al., 2018). As interações entre mortalidade, migração e nascimento de insetos contribuem para o efeito de agregação nas distribuições espaciais (ALIAKBARPOUR e RAWI, 2011; PEREIRA et al., 2020). A agregação traz benefícios, como proteção contra inimigos naturais, aumento da eficiência no uso dos recursos e criação de um microclima favorável para os indivíduos agrupados (BENGTSSON, 2008; SWORD, 2008). Além disso, o padrão de distribuição espacial das pragas no campo influencia o plano amostral (WATERS, 1959; GHADERI et al., 2018).

As áreas indicadas para o controle de tripes pelo programa com aplicação de inseticidas em toda a extensão dos campos foram cerca de 3x maiores que as áreas indicadas para não tratamento utilizando plano amostral e níveis de danos econômicos baseados em zonas de manejo. O uso excessivo de inseticidas causa impactos ambientais devido aos resíduos no solo, ar e água, e exposição ao homem, inimigos naturais, polinizadores e animais silvestres (SANTOS et al., 2021; BOIÇA JÚNIOR et al., 2007; REITZ et al., 2020). A correta previsão das áreas onde o controle de tripes deve ser realizado é essencial para reduzir o custo e o impacto da aplicação desnecessária de inseticidas. Neste contexto, a utilização de um plano de amostragem e do nível de prejuízo econômico em zonas de manejo visando áreas específicas não revelou diferenças significativas nos custos de controle.

A aplicação generalizada de inseticidas foi responsável por 75% das decisões incorretas, revelando que os agricultores deveriam investir mais na amostragem de pragas para reduzir a aplicação desnecessária e seu alto custo (PICANÇO et al., 2007; KUMAR et al., 2019; BUENO et al., 2021). O erro associado a % de decisões de controle e não controle entre os diferentes sistemas, foi influenciado também pelos níveis de infestação das lavouras do estudo (em relação ao NDE utilizado). A utilização de um plano de amostragem e o nível de dano econômico representaram apenas 8,5% de decisões incorretas. Isto demonstra que a utilização de princípios de agricultura de precisão na tomada de decisões sobre controle de pragas traz benefícios econômicos e ambientais. Em 4,9% das áreas houve indicação para não controlar tripes, quando necessário. Estas decisões incorretas de controle de pragas causam perda de rendimento econômico (GONZÁLEZ et al., 2017; SANTOS et al., 2021). Porém,

em 3,6% das áreas houve indicação de controle de tripes quando não era necessário. Essas decisões incorretas de controlar a praga quando não é necessário resultam no uso excessivo de inseticidas e danos ambientais (MIRANDA et al., 2005; TANG et al., 2010).

Somente o custo do inseticida representou de 92,5 a 95,6% do custo total incorrido para o controle de tripes. Por outro lado, o custo amostral teve pouca influência no custo total do controle de tripes, pois representou apenas 4,4 a 7,5% do custo total. Assim, o custo total do programa incluindo o custo da aplicação do inseticida em toda a área sem amostragem representou o maior custo. Isto aconteceu porque esta abordagem utilizou três vezes mais inseticidas do que quando foram utilizadas zonas de manejo combinadas com um plano de amostragem e nível de dano econômico. Portanto, é vantajoso adotar um plano de manejo que considere sistemas de tomada de decisão para controle de tripes, o que reduz o consequente impacto ambiental em cerca de 70%. Estas vantagens econômicas e ambientais são essenciais para a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (CASTLE e NARANJO, 2009; BOTTRELL e SCHOENLY, 2018). Isto permite aos agricultores obterem maiores lucros (AHUJA et al., 2015; KIBIRA et al., 2015) e conservar organismos não-alvo, como inimigos naturais e polinizadores (PICANÇO et al., 2007; EGAN et al., 2020). Além disso, a diminuição do uso de inseticidas reduz a seleção de populações de insetos resistentes aos inseticidas (ONSTAD, 2014; UMINA et al., 2019) e surtos de pragas primárias e secundárias (REITZ et al., 2020).

O manejo da resistência pode se beneficiar mantendo os inseticidas suscetíveis em áreas não aplicadas. Esta abordagem pode ajudar a reduzir, ou mesmo prevenir a evolução da resistência nas áreas aplicadas (BETANCUR, 2018). Ao utilizar inseticidas apenas quando o controle por inimigos naturais não consegue limitar os danos econômicos, o desenvolvimento da resistência pode ser retardado (DENHOLM et al., 1998). A crescente severidade da resistência nos programas de manejo de pragas e doenças destaca a necessidade de estratégias destinadas a contornar o impacto da resistência no manejo de pragas (MALLETT, 1989).

O programa de controle de pragas baseado em zonas de manejo reduz decisões erradas, mostrando mais precisão que os demais métodos avaliados neste estudo. Além disso, estudos anteriores revelam que as populações de tripes na soja não parecem variar dependendo das características da planta hospedeira, nem de fatores bióticos e abióticos, sendo afetadas apenas pela chuva e pelo fotoperíodo (SANTOS et al., 2022). Isto torna os tripes uma espécie adequada para se qualificar para um estudo de controle baseado em zonas

de manejo. Além disso, os tripes parecem manter uma distribuição agregada, o que facilita o processo de controle apenas em determinadas áreas de cultivo (SANTOS et al., 2022).

Os produtores podem implementar o controle nas zonas de manejo monitorando as pragas das culturas e identificando onde o nível de dano econômico foi atingido. Essas informações podem ser importadas para o computador de bordo dos tratores para aplicação somente nas áreas onde há indicação de controle. Para obter os mapas, os produtores e técnicos precisariam de um computador com os programas gratuitos RStudio e GS+ instalados e teriam conhecimentos de informática e compreensão de análise geoestatística.

Embora o método de tomada de decisão recomendado neste trabalho seja o programa de controle de pragas baseado em zonas de manejo, bem como os demais métodos de tomada de decisão comparados neste trabalho, não exclui a necessidade de amostragem constante nas áreas de cultivo. A amostragem semanal deve continuar nas áreas onde o controle não foi feito para verificar se tais áreas atingirão o nível de dano econômico. Amostragens periódicas também devem ser feitas em áreas onde o controle foi feito para garantir que as populações de pragas permaneçam abaixo do NDE.

20 CONCLUSÃO

Concluindo, a abordagem de tomada de decisão de utilização de zonas de manejo proposta neste estudo pode ser incorporada ao sistema de manejo integrado de tripes em campos de soja, pois leva o maior custo-benefício no processo de tomada de decisão. Isso contribui para maximizar a produtividade da soja, reduzir custos, e preservar o meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- AHUJA, D. B.; AHUJA, U. R.; SINGH, S. K.; SINGH, N. Comparison of integrated pest management approaches and conventional (non-IPM) practices in late-winter-season cauliflower in Northern India. **Crop Protection**, v. 78, p. 232-238, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.08.007>
- ALIAKBARPOUR, H.; RAWI, C. S. M. Evaluation of yellow sticky traps for monitoring the population of thrips (Thysanoptera) in a mango orchard. **Environmental Entomology**, v. 40, n. 4, p. 873-879, 2011. <https://doi.org/10.1603/EN10201>
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- BACCI, L.; PICANÇO, M. C.; MOURA, M. F.; SEMEÃO, A. A.; FERNANDES, F. L.; MORAIS, E. G. Sampling plan for thrips (Thysanoptera: Thripidae) on cucumber. **Neotropical Entomology**, v. 37, p. 582-590, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2008000500014>
- BASSO, B.; RITCHIE, J. T.; PIERCE, F. J.; BRAGA, R. P.; JONES, J. W. Spatial validation of crop models for precision agriculture. **Agricultural Systems**, v. 68, n. 2, p. 97-112, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(00\)00063-9](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(00)00063-9)
- BENGTSSON, J. **Aggregation in non-social insects**. 1 ed. Alnarp: Swedish University of Agricultural Sciences, 2008, p. 18.
- BETANCUR, H. O. J. Insecticide resistance management: A long term strategy to ensure effective pest control in the future. **Journal of Animal Science and Research**, v. 2, n. 1, p. 1- 3, 2018. <https://dx.doi.org/10.16966/2576-6457.111>
- BLEIHOLDER, H.; WEBER, E.; LANCASHIRE, P.; FELLER, C.; BUHR, L.; HESS, M.; *et al.* Growth stages of mono-and dicotyledonous plants. **BBCH monograph**, v. 158, 2001, p. 158.
- BOIÇA JÚNIOR, A. L.; MACEDO, M. A. A.; TORRES, A. L.; ANGELINI, M. R. Late pest control in determinate tomato cultivars. **Scientia agricola**, v. 64, p. 589-594, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162007000600005>
- BONGIOVANNI, R.; LOWENBERG-DEBOER, J. Precision agriculture and sustainability. **Precision agriculture**, v. 5, p. 359-387, 2004. <https://doi.org/10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.aa>
- BORGES, L. C.; FERREIRA, D. F. Poder e taxas de erro tipo I dos testes Scott-Knott, Tukey e Student-Newman-Keuls sob distribuições normal e não normais dos resíduos. **Revista de matemática e estatística**, v. 21, n. 1, p. 67-83, 2003.

BOTTRELL, D. G.; SCHOENLY, K. G. Integrated pest management for resource-limited farmers: challenges for achieving ecological, social and economic sustainability. **The Journal of Agricultural Science**, v. 156, n. 3, p. 408-426, 2018. <https://doi.org/10.1017/S0021859618000473>

BUENO, A. F.; PANIZZI, A. R.; HUNT, T. E.; DOURADO, P. M.; PITTA, R. M.; GONÇALVES, J. Challenges for adoption of integrated pest management (IPM): the soybean example. **Neotropical Entomology**, v. 50, p. 5-20, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13744-020-00792-9>

BUENO, A. F.; PAULA-MORAES, S. V.; GAZZONI, D. L.; POMARI, A. F. Economic thresholds in soybean-integrated pest management: old concepts, current adoption, and adequacy. **Neotropical Entomology**, v. 42, p. 439-447, 2013. <https://doi.org/10.1007/s13744-013-0167-8>

CASTLE, S.; NARANJO, S. E. Sampling plans, selective insecticides and sustainability: the case for IPM as 'informed pest management'. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 65, n. 12, p. 1321-1328, 2009. <https://doi.org/10.1002/ps.1857>

CID-GARCIA, N. M.; IBARRA-ROJAS, O. J. An integrated approach for the rectangular delineation of management zones and the crop planning problems. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 164, p. 104925, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104925>

DENHOLM, I.; HOROWITZ, A. R.; CAHILL, M.; ISHAAYA, I. Management of resistance to novel insecticides. In: ISHAAYA, I., DEGHEELE, D. (Org.) **Insecticides with novel modes of action: mechanisms and application**, 1 ed., Berlin Elsevier, 1998, p.p. 260-282. https://doi.org/10.1007/978-3-662-03565-8_12

DUHAN, J. S.; KUMAR, R.; KUMAR, N.; KAUR, P.; NEHRA, K.; DUHAN, S. Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. **Biotechnology Reports**, v. 15, p. 11-23, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2017.03.002>

EGAN, P. A.; DICKS, L. V.; HOKKANEN, H. M.; STENBERG, J. A. Delivering integrated pest and pollinator management (IPPM). **Trends in Plant Science**, v. 25, n. 6, p. 577-589, 2020.

GAMUNDI, J.C.; PEROTTI, E. Evaluación de daño de *Frankliniella schultzei* (Trybom) y *Caliothrips phaseoli* (Hood) en diferentes estados fenológicos del cultivo de soja. **Para mejorar la producción**, v. 42, p. 107-111, 2009.

GAVIOLI, A.; DE SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; SCHENATTO, K.; BETZEK, N. M. Identification of management zones in precision agriculture: An evaluation of alternative cluster analysis methods. **Biosystems engineering**, v. 181, p. 86-102, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.02.019>

GENT, D. H.; SCHWARTZ, H. F.; KHOSLA, R. Distribution and incidence of Iris yellow spot virus in Colorado and its relation to onion plant population and yield. **Plant Disease**, v. 88, n. 5, p. 446-452, 2004. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.5.446>

GHADERI, S.; FATHIPOUR, Y.; ASGARI, S. Population density and spatial distribution pattern of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) on different tomato cultivars. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 20, n. 3, p. 543-556, 2018.

GONZÁLEZ, E.; SALVO, A.; VALLADARES, G. Arthropod communities and biological control in soybean fields: Forest cover at landscape scale is more influential than forest proximity. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 239, p. 359-367, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.002>

JELIHOVSCHI, E.; FARIA, J. C.; ALLAMAN, I. B. **Package ‘ScottKnott’**. R package version 1.3-0, 2021. Disponível em: <https://github.com/jcfaria/ScottKnott>. Acesso em: 07/08/2023.

KIBIRA, M.; AFFOIGNON, H.; NJEHIA, B.; MURIITHI, B.; MOHAMED, S.; EKESI, S. Economic evaluation of integrated management of fruit fly in mango production in Embu County, Kenya. **African Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 10, n. 311-2016-5642, p. 343-353, 2015. <http://dx.doi.org/10.22004/ag.econ.229815>

KUMAR, M.; LAXMI, P. N.; PANDEY, A. Impact of IPM module for major pests complex of soybean. **Chemical Science Review and Letters**, v. 8, n. 30, p. 216-220, 2019.

LILIANE, T. N.; CHARLES, M. S. Factors affecting yield of crops. In: AMANULLAH, S. K. (Ed.) **Agronomy-climate change & food security**, Londres; IntechOpen, p. 9-24, 2020.

LIMA, C. H. O.; SARMENTO, R. A.; GALDINO, T. V. S.; PEREIRA, P. S.; SILVA, J.; SOUZA, D. J.; SANTOS, G. R.; COSTA, T. L.; PICANÇO, M. C. Spatiotemporal dynamics of whitefly *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in commercial watermelon crops. **Journal of economic entomology**, v. 111, n. 4, p. 1895-1903, 2018. <https://doi.org/10.1093/jee/toy110>

MALLET, J. The evolution of insecticide resistance: have the insects won?. **Trends in ecology & evolution**, v. 4, n. 11, p. 336-340, 1989.

MÉNDEZ-VÁZQUEZ, L. J.; LIRA-NORIEGA, A.; LASA-COVARRUBIAS, R.; CERDEIRA-ESTRADA, S. Delineation of site-specific management zones for pest control purposes: Exploring precision agriculture and species distribution modeling approaches. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 167, p. 105101, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105101>

MIRANDA, M. M. M.; PICANÇO, M. C.; ZANUNCIO, J. C.; BACCI, L.; SILVA, E. M. Impact of integrated pest management on the population of leafminers, fruit borers, and natural enemies in tomato. **Ciência Rural**, v. 35, n. 1, p. 204-208, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000100033>

MORGAN, M.; RAMOS, M. **Package ‘BiocManager’**. R package version 1.30.18., 2022. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/BiocManager/index.html>. Acesso em: 20/09/2023.

NEVES, D. V. C.; LOPES, M. C.; SARMENTO, R. A.; PEREIRA, P. S.; PIRES, W. S.; PELUZIO, J. M.; PICANÇO, M. C. Economic injury levels for control decision-making of thrips in soybean crops (*Glycine max* (L.) Merrill). **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. e52411932114, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.32114>

ONSTAD, D. W. IPM and insect resistance management. In: ONSTAD, D. W. (Org.) **Insect resistance management**, 1 ed, Cambridge: Academic Press, 2014. p. 515-532. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823787-8.00010-6>

PAGANO, M. C.; MIRANSARI, M. The importance of soybean production worldwide. In: MIRANSARI, M. (Org.) **Abiotic and biotic stresses in soybean production**, 1 ed., Cambridge: Academic Press, 2016. p. 1-26. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801536-0.00001-3>

PATHAK, H.S.; BROWN, P.; BEST, T. A systematic literature review of the factors affecting the precision agriculture adoption process. **Precision Agriculture**, v. 20, n. 1, p. 1292-1316, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09653-x>

PAU, G.; FUCHS, F.; SKLYAR, O.; BOUTROS, M.; HUBER, W. EBIImage—an R package for image processing with applications to cellular phenotypes. **Bioinformatics**, v. 26, n. 7, p. 979-981, 2010. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btq046>

PEDIGO, L.P.; RICE, M.E.; KRELL, R.K. **Entomology and pest management**, 7 ed., Long Grove; Waveland Press, 2021. p. 584.

PEREIRA, P. S.; SARMENTO, R. A.; LIMA, C. H. O.; PINTO, C. B.; SILVA, G. A.; DOS SANTOS, G. R.; PICANÇO, M. C. Geostatistical assessment of *Frankliniella schultzei* (Thysanoptera: Thripidae) spatial distribution in commercial watermelon crops. **Journal of economic entomology**, v. 113, n. 1, p. 489-495, 2020. <https://doi.org/10.1093/jee/toz253>

PICANÇO, M. C.; BACCI, L.; CRESPO, A. L. B.; MIRANDA, M. M. M.; MARTINS, J. C. Effect of integrated pest management practices on tomato production and conservation of natural enemies. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 9, n. 4, p. 327-335, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2007.00346.x>

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 20/09/2024.

REITZ, S. R.; GAO, Y.; KIRK, W. D.; HODDLE, M. S.; LEISS, K. A.; FUNDERBURK, J. Invasion biology, ecology, and management of western flower thrips. **Annual Review of Entomology**, v. 65, p. 17-37, 2020. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-024947>

ROBERT, P. C. Precision agriculture: a challenge for crop nutrition management. In: HORST, W.J. (Org.) **Progress in Plant Nutrition: Plenary Lectures of the XIV International Plant Nutrition Colloquium**. v. 98, Dordrecht: Springer, 2002, p. 143-149. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2789-1_11

ROBERTSON, G. P. **GS+: Geostatistics for the Environmental Sciences**. Gamma Design

Software, Plainwell, Michigan USA, 1998.

ROSADO, J. F.; PICANÇO, M. C.; SARMENTO, R. A.; PEREIRA, R. M.; PEDRONETO, M.; GALDINO, T. V. S.; SARAIVA, A. S.; ERASMO, E. A. L. Geostatistics as a tool to study mite dispersion in physic nut plantations. **Bulletin of Entomological Research**, v. 105, n. 4, p. 381-389, 2015. <https://doi.org/10.1017/S0007485315000310>

RSTUDIO TEAM. **RStudio: Integrated Development for R**. RStudio, Boston, MA, PBC, 2020.

SANTOS, J.L. **Decision-making for thrips control in soybean fields using precision agriculture principles**, Mendeley Data, V1, 2022. <https://doi.org/10.17632/r3d7sv9v4m.1>

SANTOS, J. L.; SARMENTO, R. A.; PEREIRA, P. S.; NOLETO, L. R.; REIS, K. H.; PIRES, W.S.; PELUZIO, J. M.; MEDEIROS, J. G.; SANTOS, A. A.; PICANÇO, M. C. Assessing the temporal dynamics of *Frankliniella schultzei* (Thysanoptera: Thripidae) in commercial soybean crops in North Brazil. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 24, n. 1, p. 97-103, 2022. <https://doi.org/10.1111/afe.12471>

SANTOS, R. C.; LOPES, M. C.; SARMENTO, R. A.; PEREIRA, P. S.; PICANÇO, M. M.; PIRES, W. S.; NOLETO, L. R.; ARAÚJO, T. A.; PICANÇO, M. C. Conventional sampling plan for thrips in tropical soybean fields. **Crop Protection**, v. 148, n. 1, p. 105740, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105740>

SCHIMMELPFENNIG, D.; EBEL, R. On the doorstep of the information age: Recent adoption of precision agriculture. **Economic Research Service, Paper No. EIB-80**, 2011. Disponível em: <http://ageconsearch.umn.edu/record/291945>. Acesso em: 09/09/2024.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, p. 507-512, 1974. <https://doi.org/10.2307/2529204>

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja: do plantio à colheita**. 1 ed., Viçosa: UFV, 2015, p. 333.

SELIG, P.; KEOUGH, S.; NALAM, V. J.; NACHAPPA, P. Jasmonate-dependent plant defenses mediate soybean thrips and soybean aphid performance on soybean. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 10, p. 273-282, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11829-016-9437-9>

SILVA, F. O.; ITAKO, A. T.; TOLENTINO JÚNIOR, J. B. Mycelial growth assessment by digital image analysis in R software environment. **Idesia (Chile)**, v. 35, n. 1, p. 5-8, 2017.

SINGH, A. K. **Precision farming**. New Delhi: Water Technology Centre- IARI, 2010, p. 10.

SWORD, G. A. Gregarious behavior in insects. In: CAPINERA, J.L. (Org.) **Encyclopedia of entomology**. 2 ed., Berlin: Springer Science & Business Media, 2008, p. 1733-1740.

SYSTAT SOFTWARE INC. **SigmaPlot versão 12.5**. San Jose, California, USA. 2013.

TANG, S.; TANG, G.; CHEKE, R.A. Optimum timing for integrated pest management:

modelling rates of pesticide application and natural enemy releases. **Journal of Theoretical Biology**, v. 264, n. 2, p. 623-638, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2010.02.034>

THOMPSON, N. M.; DELAY, N. D.; MINTERT, J. R. Understanding the farm data lifecycle: collection, use, and impact of farm data on US commercial corn and soybean farms. **Precision Agriculture**, v. 22, n. 6, p. 1685-1710, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09807-w>

UMINA, P. A.; MCDONALD, G.; MAINO, J.; EDWARDS, O.; HOFFMANN, A. A. Escalating insecticide resistance in Australian grain pests: contributing factors, industry trends and management opportunities. **Pest Management Science**, v. 75, n. 6, p. 1494-1506, 2019. <https://doi.org/10.1002/ps.5285>

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE. **World Agricultural Production**. 2022. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>. Acesso em: 07 /08/2023.

WATERS, W. E. A quantitative measure of aggregation in insects. **Journal of Economic Entomology**, v. 52, n. 6, p. 1180-1184, 1959. <https://doi.org/10.1093/jee/52.6.1180>

WHELAN, B.; TAYLOR, J. **Precision agriculture for grain production systems**. Clayton, Csiro publishing, 2013, p. 199.

ZALUCKI, M. P.; ADAMSON, D.; FURLONG, M. J. The future of IPM: whither or wither? **Australian Journal of Entomology**, v. 48, n. 2, p. 85-96, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1440-6055.2009.00690.x>

21 DISCUSSÃO INTEGRADORA

Esta tese foi escrita em capítulos que dissertam sobre manejo integrado de pragas emergentes da cultura da soja usando exemplos do Brasil e dos Estados Unidos, os dois maiores produtores dessa cultura no mundo. A tese inicia com uma introdução geral do tema trazendo conceitos como o que é Manejo Integrado de Pragas, e o que são pragas emergentes. Além disso, trata da importância de entender a biologia dessas pragas para decidir como se manejar essas pragas e da importância do uso de novas tecnologias estimação de perdas e para tomada de decisão de controle.

O primeiro capítulo aborda sobre o manejo integrado de pragas emergentes da soja no Brasil e nos Estados Unidos, enfatizando a importância dessa cultura para a economia global e os desafios enfrentados devido à intensificação do seu cultivo. A crescente demanda por óleo vegetal e proteína levou a uma expansão significativa das áreas cultivadas. No entanto, essa intensificação juntamente com as mudanças climáticas e a diminuição de habitats naturais, também favoreceu o surgimento de novas pragas, como a mosca-branca (*Bemisia tabaci*), os tripses e os minadores de folhas, que afetam a produtividade e podem transmitir doenças às plantas. O artigo trás ainda um breve histórico do MIP no Brasil e nos Estados Unidos e explica os conceitos e estratégias que compõem o MIP, como Nivel de Dano Econômico.

Um dos desafios atuais é o surgimento de novas pragas, o capítulo disserta também sobre o status de como é o manejo integrado de algumas pragas emergentes do Brasil e dos Estados Unidos, como o *Macrosaccus morrisella*, um minador de folhas recentemente detectado em lavouras de soja na América do Norte. De forma geral, o capítulo reforça que, apesar dos avanços obtidos com o MIP, a busca por práticas eficientes e sustentáveis deve ser constante, pois a dinâmica das pragas está sempre mudando, com pragas ocasionais se tornando pragas chaves, exigindo adaptações para garantir a sustentabilidade da produção de soja.

O segundo capítulo aborda a determinação dos estágios imaturos de desenvolvimento (instares), da mariposa *Macrosaccus morrisella* (Lepidoptera: Gracillariidae), e uma forma de diferenciação sexual para essa espécie que é um minador de folhas da soja com potencial para se tornar uma praga relevante na América do Norte. Esse estudo trás informações importantes sobre a biologia desse inseto, fundamentais para o desenvolvimento de estratégias de manejo integrado.

O estudo serviu para identificar o número de instares de *M. morrisella*, analisando a largura da cápsula cefálica, o comprimento do corpo e a área foliar minada pelas larvas. Os resultados mostraram que a espécie passa por cinco instares larvais, com os três primeiros apresentando uma morfologia bucal adaptada à alimentação de seiva e os dois últimos à alimentação de tecidos. Outra descoberta relevante foi o novo método para diferenciar os sexos dessa espécie através das pupas, observando a presença de gônadas que são visíveis através da cutícula nos machos e sua ausência nas fêmeas. Essa técnica foi validada pela comparação com o método tradicionalmente utilizado para esse grupo de insetos, a diferenciação dos adultos por meio da observação do frenulum das asas.

A pesquisa também destacou que a minação das folhas pelas larvas de *M. morrisella* pode reduzir a área fotossintética da planta, potencialmente impactando a produtividade da soja. A confirmação de cinco instares e a descoberta de um método simples e eficaz de sexagem contribuem significativamente para futuras pesquisas e manejo dessa praga emergente.

O terceiro capítulo aborda os impactos da mosca-branca (*Bemisia tabaci*) na cultura da soja, destacando os prejuízos causados por essa praga e a aplicação de redes neurais artificiais (RNAs) para prever as perdas de rendimento da cultura. A pesquisa demonstra que a infestação da mosca-branca tem efeitos negativos significativos sobre a produtividade da soja.

O estudo realizado revelou que a fase vegetativa da soja é mais vulnerável ao ataque da *B. tabaci*, com uma redução significativa na área foliar e no rendimento da cultura. O estudo identificou que fatores como o número de flores por planta, o número de óvulos por vagem e o peso médio do grão possuem correlação positiva com o rendimento da soja, enquanto o abortamento de flores e de óvulos por vagem impactam negativamente a produtividade. A nossa pesquisa também destacou que a infestação da mosca-branca pode de alguma forma estar associada ao abortamento de flores e óvulos na cultura da soja, embora mais estudos sejam necessários para confirmar essa relação.

Uma das principais descobertas da pesquisa foi a utilização bem-sucedida das RNAs para antecipar os impactos do ataque da mosca-branca na produção de soja. O modelo criado demonstrou elevada acurácia, com previsões que superaram com 96% dos valores observados. Esta estratégia inovadora evidencia que as redes neurais artificiais podem ser instrumentos eficientes no controle integrado de pragas, possibilitando a previsão de prejuízos e a melhoria das táticas de controle.

O quarto capítulo trata do desenvolvimento de um sistema de tomada de decisão para o controle de tripes na cultura da soja baseado na utilização de zonas de manejo. A pesquisa avaliou três estratégias de controle: (i) controle convencional com aplicação de inseticidas em toda a área (CI), (ii) manejo integrado de pragas com amostragem convencional e pulverização em toda a área quando o nível de dano econômico (NDE) foi atingido (IPM-CS) e (iii) pulverização apenas nas áreas do campo onde a densidade de tripes atingiu o NDE (IPM-MZ).

As principais descobertas indicaram que as estratégias baseadas no monitoramento e no uso de zonas de manejo foram responsáveis pela redução da aplicação de inseticidas em três vezes, comparado ao controle convencional, que apresentou um índice de erro de decisão de 75%. Além disso, os custos do programa CI foram superiores significativamente aos custos dos programas IPM-CS e IPM-MZ, o que evidencia uma economia considerável ao adotar uma abordagem mais precisa para o manejo dos tripes. O estudo destacou ainda, que a implementação de zonas de manejo é uma alternativa técnica, econômica e ambientalmente viável para o controle de tripes na soja. O uso dessa estratégia permite uma gestão mais eficiente da praga, reduzindo custos e impactos ambientais sem comprometer a produtividade da cultura. Portanto, as pesquisas indicam que a combinação de tecnologia, monitoramento rigoroso e práticas de manejo sustentáveis são essenciais para assegurar a produtividade da soja a longo prazo, equilibrando eficácia econômica e proteção do meio ambiente.

22 CONCLUSÕES FINAIS DA TESE

- Novas espécies de pragas surgiram como resultado do desenvolvimento e intensificação da cultura da soja, que acabou reduzindo o habitat natural das espécies e consequentemente a oferta de alimento, representando uma ameaça ao rendimento das culturas tanto no Brasil como nos Estados Unidos. Integrar o controle químico, cultural e biológico provou ser um método eficaz para lidar com essas questões.
- Neste trabalho foi determinado que *M. morrisella* possui cinco instares de desenvolvimento e os sexos de suas pupas podem ser distinguidos pela observação através da cutícula da presença das gônadas nas pupas machos e sua ausência nas fêmeas.
- Este estudo revela o impacto significativo de *B. tabaci* em plantas de soja e seu rendimento. Foi observado um efeito negativo da densidade de *B. tabaci* atacando plantas durante os estágios vegetativo e reprodutivo, bem como na área foliar e rendimento da planta. O peso médio do grão, número de flores por planta e número de óvulos por vagem foram positivamente e significativamente relacionados ao rendimento da planta de soja. O peso do grão foi o componente mais importante para o rendimento de soja. Os resultados destacam a falta de conhecimento sobre como ninfas de *B. tabaci* podem afetar as plantas de soja, incitando produtores e técnicos a planejar um controle eficaz de pragas.
- O sistema de tomada de decisão de utilização de zonas de manejo proposta neste estudo pode ser incorporada ao sistema de manejo integrado de tripses em campos de soja, pois leva o maior custo-benefício no processo de tomada de decisão, sendo uma alternativa para produtores e técnicos.

REFERÊNCIAS

- ABIRI, R., RIZAN, N., BALASUNDRAM, S. K., SHAHBAZI, A. B., & ABDUL-HAMID, H. Application of digital technologies for ensuring agricultural productivity. *Heliyon*, v. 9, n. 12, p. e22601, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22601>
- BAILEY, P. T. (Ed.). **Pests of field crops and pastures: identification and control**. 1. Ed. Collingwood: CSIRO publishing, 2007, p. 520.
- BUENO, A. F.; PANIZZI, A. R.; HUNT, T. E.; DOURADO, P. M.; PITTA, R. M.; GONÇALVES, J. Challenges for adoption of integrated pest management (IPM): the soybean example. *Neotropical Entomology*, v. 50, p. 5-20, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13744-020-00792-9>
- CABRAL, M. J. S.; HASEEB, M.; SOARES, M. A. Major Insect Pests of Sweet Potatoes in Brazil and the United States, with Information on Crop Production and Regulatory Pest Management. *Insects*, v. 15, n. 10, p. 823, 2024. <https://doi.org/10.3390/insects15100823>
- HUSS, C. P.; HOLMES, K. D.; BLUBAUGH, C. K. Benefits and risks of intercropping for crop resilience and pest management. *Journal of economic entomology*, v. 115, n. 5, p. 1350- 1362, 2022. <https://doi.org/10.1093/jee/toac045>
- JONES, R. W.; ILLESCAS-RIQUELME, C.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, V.; BAUTISTA-MARTÍNEZ, N.; O'BRIEN, C. W. Emergent and possible invasive pest species of weevils in Mexico. *Florida Entomologist*, v. 102, n. 3, p. 480-485, 2019. <https://doi.org/10.1653/024.102.0302>
- LEHMANN, P.; AMMUNÉT, T.; BARTON, M.; BATTISTI, A.; EIGENBRODE, S. D.; JEPSEN, J. U.; KALINKAT, G.; NEUVONEN, S.; NIEMELÄ, P.; TERBLANCHE, J. S.; ØKLAND, B.; BJÖRKMAN, C. Complex responses of global insect pests to climate warming. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 18, n. 3, p. 141-150, 2020. <https://doi.org/10.1002/fee.2160>
- NAWAZ, M.; CAI, W.; JING, Z.; ZHOU, X.; MABUBU, J. I.; HUA, H. Toxicity and sublethal effects of chlorantraniliprole on the development and fecundity of a non-specific predator, the multicolored Asian lady beetle, *Harmonia axyridis* (Pallas). *Chemosphere*, v. 178, p. 496-503, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.082>
- O'NEAL, M. E.; JOHNSON, K. D. Insect pests of soybean and their management. In: SINGH, G. (Ed.) **The soybean: botany, production and uses**. Cambridge: CAB International, 2010. p. 300-324. <https://doi.org/10.1079/9781845936440.0300>
- PAGANO, M. C.; MIRANSARI, M. The importance of soybean production worldwide. In: MIRANSARI, M. (Org.) **Abiotic and biotic stresses in soybean production**, 1 ed., Cambridge: Academic Press, 2016. p. 1-26. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801536-0.00001-3>

PIMENTEL, D.; PESHIN, R. **Integrated pest management: pesticide problems, Vol. 3.** New York: Springer Dordrecht, 2014, p. 474.

ROY, A.; KUMAR, S.; PYNE, S.; SAHA, P.; DAS, A. Precision agriculture: analysing the use of advanced technologies, data analytics and remote sensing for site-specific crop management and resource optimization. In: **Futuristic Trends in Agriculture Engineering & Food Sciences Volume 3 Book 23**, v. 3, Karnataka: IIP Series, 2024, p. 53-75. <https://www.doi.org/10.58532/V3BCAG23CH5>

SIDDALL, A.; HARVEY-SAMUEL, T.; CHAPMAN, T.; LEFTWICH, P. T. Manipulating insect sex determination pathways for genetic pest management: opportunities and challenges. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 10, p. 867851, 2022. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.867851>

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE. **Production - Soybeans.** 2024. Disponível em: <https://fas.usda.gov/data/production/commodity/2222000> Acesso em: 07/08/2024.

WITZGALL, P.; KIRSCH, P.; CORK, A. Sex pheromones and their impact on pest management. **Journal of chemical ecology**, v. 36, p. 80-100, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10886-009-9737-y>