



ESTADO DE MATO GROSSO
SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO PROFESSOR EUGÊNIO CARLOS STIELER
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE E SISTEMAS DE
PRODUÇÃO AGRÍCOLA



CARLOS HENRIQUE COSTA REVERTE

POTENCIAL DOS COMPOSTOS BIOATIVOS DE PIPERÁCEAS NO CONTROLE
DE LAGARTAS DO COMPLEXO *Spodoptera*

Tangará da Serra - MT

2025



ESTADO DE MATO GROSSO
SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO PROFESSOR EUGÊNIO CARLOS STIELER
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE E SISTEMAS DE
PRODUÇÃO AGRÍCOLA



CARLOS HENRIQUE COSTA REVERTE

POTENCIAL DOS COMPOSTOS BIOATIVOS DE PIPERÁCEAS NO
CONTROLE DE LAGARTAS DO COMPLEXO *Spodoptera*

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Dra. Alessandra Regina Butnariu.

Tangará da Serra - MT

2025

Ficha catalográfica elaborada pela Supervisão de Bibliotecas da UNEMATCatalogação de Publicação na Fonte. UNEMAT -
Unidade padrão

R452p Reverte, Carlos Henrique Costa.

POTENCIAL DOS COMPOSTOS BIOATIVOS DE PIPERÁCEAS NO CONTROLE
DE LAGARTAS DO COMPLEXO Spodoptera / Carlos Henrique Costa
Reverte. - Cáceres, 2025.

91f.: il.

Universidade do Estado de Mato Grosso "Carlos Alberto Reyes
Maldonado", Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola/TGA-PPGASP -
TANGARA DA SERRA - Mestrado Academico, Campus Universitário De
Tangará Da Serra "Eugênio Carlos Stieler".

Orientador: Alessandra Regina Butnariu.

1. Piperaceae. 2. fitoinseticidas. 3. Spodoptera frugiperda.
I. Butnariu, Alessandra Regina. II. Título.

UNEMAT / MTSCB

CDU 581



ESTADO DE MATO GROSSO
SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO PROFESSOR EUGÊNIO CARLOS STIELER
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE E SISTEMAS DE
PRODUÇÃO AGRÍCOLA



CARLOS HENRIQUE COSTA REVERTE

POTENCIAL DOS COMPOSTOS BIOATIVOS DE PIPERÁCEAS NO
CONTROLE DE LAGARTAS DO COMPLEXO *Spodoptera*

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola para obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 25 de agosto de 2025.
Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
gov.br ALESSANDRA REGINA BUTNARIU
Data: 28/08/2025 13:02:13-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Alessandra Regina Butnariu
Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT
(Presidente)

Prof. Dr. Bruno Alexis Zachrisson Salamina
Universidade de Panamá e IDIAP
(Membro externo)

Documento assinado digitalmente
gov.br MIRIAM HIROKO INOUE
Data: 28/08/2025 15:31:21-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Miriam Hiroko Inoue
Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT
(Membro interno)

Tangará da Serra - MT

2025

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho àqueles que compreendem que o valor da jornada está no esforço, e não apenas na vitória.

A todos que, diante das dificuldades, escolhem a virtude sobre a facilidade, a ação sobre a queixa, e a perseverança sobre a desistência.

Pois, como ensina a filosofia, não controlamos os ventos, mas podemos ajustar as velas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha orientadora, Professora Doutora Alessandra Regina Butnariu, pela orientação, apoio e dedicação ao longo desta pesquisa.

Aos amigos e à família, pelo incentivo, compreensão e companheirismo durante toda a jornada do mestrado.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA: Análise de Variância

ATP: Trifosfato de Adenosina

Bt: *Bacillus thuringiensis*

CAPES: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CONAB: Companhia Nacional de Abastecimento

CL: Concentração letal para determinada porcentagem de uma população

cm: Centímetros

CPEDA: Centro de Pesquisas e Estudos e Desenvolvimento Agroambientais

DNA: Ácido Desoxirribonucleico

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPA: Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

FAO: Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura

g: Gramas

GLM: Modelo Linear Generalizado

h: Horas

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

L: Litros

mg: Miligramas

mL: Mililitros

min: Minutos

mm: Milímetros

MIP: Manejo Integrado de Pragas

NPK: Nitrogênio, Fósforo e Potássio

OE's: Óleos essenciais

pH: Potencial Hidrogeniônico

RNA: Ácido Ribonucleico

UNEMAT: Universidade do Estado de Mato Grosso

TANG: Herbário do município de Tangará da Serra

UV: Ultravioleta

μL: Microlitros

LISTA DE SÍMBOLOS

%: Porcentagem

®: Marca registrada

<: Menor que

$\leq$: Menor ou igual que

$\geq$: Maior ou igual que

$\pm$: Mais ou menos

°: Graus

°C: Grau Celsius

μ : Micro (10^{-6})

$\sim$: Aproximadamente

Σ : Soma

$\neq$: Diferente de

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diferenças morfológicas utilizadas para a sexagem de indivíduos de <i>Spodoptera</i> sp. As letras indicam: (a) 8º segmento abdominal; (b) gonóporo; (c) orifícios de oviposição; (d) estrumas semicirculares; (e) 9º segmento abdominal; (f) 10º segmento abdominal; (g) ânus; (h) espinho da anca. Esses caracteres permitem a distinção entre machos e fêmeas, conforme descrito por Qianjin <i>et al.</i> (2019). Fonte: adaptado de Qianjin <i>et al.</i> (2019).	25
Figura 2. Mapa indicando a localização geográfica das plantas de <i>Piper</i> coletadas no município de Tangará da Serra, Estado de Mato Grosso, Brasil, para posterior extração dos óleos essenciais.	26
Figura 3. Imagens do aparelho de Clevenger utilizado no processo de hidrodestilação para extração dos óleos essenciais das espécies <i>Piper arboreum</i> e <i>Piper fuligineum</i>	27
Figura 4. Distribuição quantitativa dos principais constituintes químicos identificados nos óleos essenciais de <i>Piper arboreum</i> e <i>Piper fuligineum</i> . Fonte: Rezende (2024).	31
Figura 5. Curva de Kaplan-Meier analisando o desempenho temporal entre os tratamentos experimentais de óleos essenciais de <i>P. arboreum</i> e <i>P. fuligineum</i> em diferentes espécies de lepidópteros-praga com método de contato. A-C-E: Representam bioensaios com OE de <i>P. arboreum</i> ; B-D-F: Representam bioensaios com OE de <i>P. fuligineum</i>	34
Figura 6. Registro fotográfico dos efeitos do contato de óleos essenciais de <i>Piper fuligineum</i> e <i>Piper arboreum</i> em <i>Spodoptera frugiperda</i> . A-C: Óleo essencial de <i>Piper fuligineum</i> ; D-F: Óleo essencial de <i>Piper arboreum</i> . Fonte: O autor, 2025.	36
Figura 7. Registro fotográfico dos efeitos do contato de óleos essenciais de <i>Piper fuligineum</i> e <i>Piper arboreum</i> em <i>Spodoptera cosmioides</i> . A-C: Óleo essencial de <i>Piper fuligineum</i> ; D-F: Óleo essencial de <i>Piper arboreum</i> . Fonte: O autor, 2025.	37
Figura 8. Registro fotográfico dos efeitos do contato de óleos essenciais de <i>Piper fuligineum</i> e <i>Piper arboreum</i> em <i>Spodoptera eridania</i> . A-C: Óleo essencial de <i>Piper fuligineum</i> ; D-F: Óleo essencial de <i>Piper arboreum</i> . Fonte: O autor, 2025.	38
Figura 9. Diferenças morfológicas utilizadas para a sexagem de indivíduos de <i>Spodoptera</i> sp. As letras indicam: (a) 8º segmento abdominal; (b) gonóporo; (c) orifícios de oviposição; (d) estrumas semicirculares; (e) 9º segmento abdominal; (f) 10º segmento abdominal; (g) ânus; (h) espinho da anca. Esses caracteres permitem a distinção entre machos e fêmeas, conforme descrito por Qianjin <i>et al.</i> (2019). Fonte: adaptado de Qianjin <i>et al.</i> (2019).	58

Figura 10. Mapa indicando a localização geográfica das plantas de <i>Piper</i> coletadas no município de Tangará da Serra, Estado de Mato Grosso, Brasil, para posterior extração dos óleos essenciais.....	59
Figura 11. Imagens do aparelho de Clevenger utilizado no processo de hidrodestilação para extração dos óleos essenciais das espécies <i>Piper arboreum</i> e <i>Piper fuligineum</i>	60
Figura 12. Lagarta de terceiro ínstar de <i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. Smith, 1797) durante o processo de inoculação em dieta artificial previamente suplementada com óleo essencial de <i>Piper</i> spp., utilizada para avaliação da atividade inseticida. Fonte: O autor (2024).	62
Figura 13. Distribuição quantitativa dos principais constituintes químicos identificados nos óleos essenciais de <i>Piper arboreum</i> e <i>Piper fuligineum</i> . Fonte: Rezende (2024).	64
Figura 14. Curva de Kaplan-Meier analisando o desempenho temporal entre os tratamentos experimentais de óleos essenciais de <i>P. arboreum</i> e <i>P. fuligineum</i> em diferentes espécies de lepidópteros-praga com método de ingestão. A-C-E: Representam bioensaios com OE de <i>P. arboreum</i> ; B-D-F: Representam bioensaios com OE de <i>P. fuligineum</i>	66
Figura 15. Registro fotográfico dos efeitos de ingestão de óleos essenciais de <i>Piper fuligineum</i> e <i>Piper arboreum</i> em <i>Spodoptera frugiperda</i> . A-C: Óleo essencial de <i>Piper fuligineum</i> ; D- F: Óleo essencial de <i>Piper arboreum</i> . Fonte: O autor, 2025.	68
Figura 16. Registro fotográfico dos efeitos de ingestão de óleos essenciais de <i>Piper fuligineum</i> e <i>Piper arboreum</i> em <i>Spodoptera cosmioides</i> . A-C: Óleo essencial de <i>Piper fuligineum</i> ; D- F: Óleo essencial de <i>Piper arboreum</i> . Fonte: O autor, 2025.	69
Figura 17. Registro fotográfico dos efeitos de ingestão de óleos essenciais de <i>Piper fuligineum</i> e <i>Piper arboreum</i> em <i>Spodoptera eridania</i> . A-C: Óleo essencial de <i>Piper fuligineum</i> ; D- F: Óleo essencial de <i>Piper arboreum</i> . Fonte: O autor, 2025.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Protocolo de dieta artificial utilizada para criação de lepidópteros-praga do gênero <i>Spodoptera</i>	24
Tabela 2. Parâmetros biológicos do desenvolvimento de espécies de lepidópteros-praga utilizados como modelo experimental nos testes com óleos essenciais de <i>Piper arboreum</i> e <i>Piper fuligineum</i> . Os dados apresentados foram obtidos da literatura científica especializada.	30
Tabela 3. Efeito larvicida de óleos de <i>Piper arboreum</i> e <i>Piper fuligineum</i> em diferentes espécies de lepidópteros-praga com método de contato.....	32
Tabela 4. Concentrações Letais (CL) dos óleos essenciais de <i>Piper fuligineum</i> e <i>Piper arboreum</i> em diferentes espécies de lepidópteros-praga no método de contato.	35
Tabela 5. Efeito subletais de óleos de <i>Piper arboreum</i> e <i>Piper fuligineum</i> em diferentes espécies de lepidópteros-praga com método de contato.....	40
Tabela 6. Protocolo de dieta artificial utilizada para criação de lepidópteros-praga do gênero <i>Spodoptera</i>	58
Tabela 7. Parâmetros biológicos do desenvolvimento de espécies de lepidópteros-praga utilizados como modelo experimental nos testes com óleos essenciais de <i>Piper arboreum</i> e <i>Piper fuligineum</i> . Os dados apresentados foram obtidos da literatura científica especializada.	63
Tabela 8. Efeitos subletais de óleos de <i>Piper arboreum</i> e <i>Piper fuligineum</i> em diferentes espécies de lepidópteros-praga com método de ingestão.	65
Tabela 9. Concentrações Letais (CL) dos óleos essenciais de <i>Piper fuligineum</i> e <i>Piper arboreum</i> em diferentes espécies de lepidópteros-praga no método de ingestão.....	67
Tabela 10. Efeitos subletais de óleos de <i>Piper arboreum</i> e <i>Piper fuligineum</i> em diferentes espécies de lepidópteros-praga com método de ingestão.	72

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	15
1.1	Referências Bibliográficas.....	17
2	CAPÍTULO 1: AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE <i>Piper arboreum</i> E <i>Piper fuligineum</i> COM MECANISMO DE AÇÃO POR CONTATO PARA O CONTROLE DE LEPIDÓPTEROS-PRAGA DA CULTURA DA SOJA . 21	
2.1	Introdução	22
2.2	Material e Métodos	23
2.2.1	Obtenção, criação e manutenção dos lepidópteros-praga.....	23
2.2.2	Obtenção do material vegetal	25
2.2.3	Extração dos óleos essenciais	26
2.2.4	Análise Cromatográfica	27
2.2.5	Mensuração dos efeitos letais e subletais	28
2.2.6	Análise de dados	30
2.3	Resultados e Discussão.....	30
2.3.1	Análise cromatográfica.....	30
2.3.2	Efeito larvicida dos óleos essenciais	31
2.3.3	Efeitos subletais dos óleos essenciais.....	35
2.4	Discussão	41
2.5	Considerações Finais	46
2.6	Referências Bibliográficas.....	47
3	CAPÍTULO 2: EFEITO DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE <i>Piper arboreum</i> E <i>Piper fuligineum</i> PELA VIA DE AÇÃO POR INGESTÃO PARA O CONTROLE DE LEPIDÓPTEROS-PRAGA DO COMPLEXO <i>Spodoptera</i>	55
3.1	Introdução	56
3.2	Material e Métodos	57
3.2.1	Obtenção, criação e manutenção dos lepidópteros-praga.....	57
3.2.2	Obtenção do material vegetal	59
3.2.3	Extração dos óleos essenciais	60
3.2.4	Análise Cromatográfica	61
3.2.5	Mensuração dos efeitos letais e subletais	61
3.2.6	Análise de dados	63

3.3	Resultados e Discussão.....	63
3.3.1	Análise cromatográfica.....	63
3.3.2	Efeito larvícida dos óleos essenciais	64
3.3.3	Efeitos subletais dos óleos essenciais	67
3.4	Discussão	73
3.5	Considerações Finais	79
3.6	Referências Bibliográficas.....	80
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	88
5	ANEXOS	89
5.1	Anexo A: Concentrações química (%) obtidos por hidrodestilação das folhas secas de duas espécies de <i>Piper fuliginum</i> e <i>Piper arboreum</i> (Piperaceae) coletada em Tangará da Serra, Mato Grosso.	89

RESUMO

Óleos essenciais (OE's) são aleloquímicos derivados de metabólitos secundários produzidos por plantas, amplamente utilizados devido às suas propriedades inseticidas, antimicrobianas, farmacêuticas e outras aplicações comerciais. Esta dissertação foi desenvolvida com objetivo de avaliar o potencial inseticida dos óleos essenciais de *Piper arboreum* e *P. fuligineum* no controle de lagartas do gênero *Spodoptera*, pragas de grande relevância para a na cultura da soja. O trabalho foi estruturado em dois capítulos, abordando diferentes vias de exposição (contato e ingestão) dos insetos pelos óleos essenciais. No primeiro capítulo, o contato com 4 % (v/v) dos óleos essenciais de *P. arboreum* e *P. fuligineum* revelou-se a condição mais eficiente, resultando em mortalidades superiores a 86,7 % em *S. frugiperda* e desempenho equivalente ao inseticida comercial em *S. cosmioides*. Para *S. eridania*, *P. arboreum* destacou-se pela alta letalidade, mesmo em 0,25 %, indicando maior sensibilidade dessa espécie ao óleo dessa planta. No segundo capítulo, via ingestão, o óleo de *P. arboreum* proporcionou 90 % de mortalidade em *S. eridania* a 0,25 %, enquanto *P. fuligineum* atingiu até 86,7 % em *S. frugiperda* a 4 %. Em termos de resposta global, *P. arboreum* mostrou-se mais promissor, especialmente para o controle de *S. eridania*, considerada a praga mais sensível. Ambos os óleos, *P. arboreum* e *P. fuligineum*, provocaram efeitos subletais, como atraso no desenvolvimento larval, redução no peso das pupas e formação de placas necróticas, reforçando seu potencial como biopesticidas para controle de pragas na cultura da soja, podendo ser incorporados ao manejo integrado de *Spodoptera* spp.. Diante da eficácia demonstrada, recomenda-se a continuidade dos estudos visando o desenvolvimento de formulações comerciais eficientes.

Palavras-chave: *Piperaceae*, fitoinseticidas, *Spodoptera frugiperda*, *Spodoptera eridania*, *Spodoptera cosmioides*.

ABSTRACT

Essential oils (EOs) are allelochemicals derived from secondary metabolites produced by plants, widely used due to their insecticidal, antimicrobial, pharmaceutical, and other commercial applications. This dissertation was developed with the aim of evaluating the insecticidal potential of the essential oils from *Piper arboreum* and *P. fuliginum* in the control of caterpillars from the genus *Spodoptera*, pests of great importance in soybean cultivation. The study was structured in two chapters, addressing different exposure routes (contact and ingestion) of insects to the essential oils. In the first chapter, contact with 4% (v/v) essential oils of *P. arboreum* and *P. fuliginum* proved to be the most efficient condition, resulting in mortalities above 86.7% in *S. frugiperda* and performance equivalent to that of a commercial insecticide in *S. cosmioides*. For *S. eridania*, *P. arboreum* stood out for its high lethality even at 0.25%, indicating greater sensitivity of this species to the oil from this plant. In the second chapter, via ingestion, *P. arboreum* oil provided 90% mortality in *S. eridania* at 0.25%, while *P. fuliginum* reached up to 86.7% in *S. frugiperda* at 4%. In terms of overall response, *P. arboreum* was more promising, especially for the control of *S. eridania*, considered the most sensitive pest. Both oils, *P. arboreum* and *P. fuliginum*, caused sublethal effects such as delayed larval development, reduced pupal weight, and formation of necrotic plaques, reinforcing their potential as biopesticides for pest control in soybean crops and their possible incorporation into integrated management of *Spodoptera* spp. Given the demonstrated efficacy, further studies are recommended to develop efficient commercial formulations.

Keywords: *Piperaceae*, phytoinsecticides, *Spodoptera frugiperda*, *Spodoptera eridania*, *Spodoptera cosmioides*.

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é uma das maiores potências agrícolas no mundo, destacando-se como um dos principais produtores e exportadores de alimentos, fibras e bioenergia (CNA, 2023; Quintam; Assunção, 2023). Essa característica resulta de sua ampla extensão territorial e das condições climáticas favoráveis, que tornam o país ideal para o cultivo de culturas como soja, milho, algodão e girassol, as quais apresentam produtividades crescentes a cada ano (Morandi *et al.*, 2024).

Apesar da elevada produtividade, as pragas representam um enorme desafio, gerando altos custos de controle nas grandes culturas brasileiras. Estima-se que os insetos causem perdas de milhões de dólares em cada safra, considerando os efeitos diretos (Oliveira *et al.*, 2022). Em regiões como Mato Grosso e Pará, entre 2016 e 2018, as perdas médias de produtividade devido a pragas oscilaram entre 7,5% e 23% para a soja, representando prejuízos estimados em torno de US\$ 1,33 bilhão nessas safras (Hampf *et al.*, 2021). Por esse motivo, o manejo fitossanitário é essencial em grandes áreas de monocultura, como ocorre no estado do Mato Grosso (Capoane, 2022; Staduto *et al.*, 2018).

Para realizar o manejo fitossanitário de forma adequada, diversas tecnologias podem ser empregadas, visando minimizar a pressão das pragas sobre as culturas e aumentar a produtividade agrícola (Picanço *et al.*, 2023). Dentre essas tecnologias, os inseticidas químicos lideram, devido à facilidade de aplicação mecanizada em grandes áreas, à rápida difusão nos sistemas agrícolas e à facilidade de aquisição (Corrêa; Salgado, 2011).

No entanto, esses inseticidas apresentam diversos reveses ambientais e podem gerar impactos prejudiciais a saúde humana e ao meio ambiente, acarretando problemas relacionados à qualidade de vida e à sustentabilidade dos ecossistemas (Lopes *et al.*, 2018). Diante disso, torna-se urgente buscar alternativas que minimizem tais efeitos negativos, promovendo um equilíbrio entre produtividade e sustentabilidade.

Nesse contexto, tem se intensificado o interesse por soluções biotecnológicas mais seguras e ambientalmente responsáveis, como o uso dos óleos essenciais (OE's). Esses compostos, que se destacam por serem aleloquímicos voláteis e hidrofóbicos, são derivados de metabólitos secundários produzidos pelas plantas e representam uma promissora alternativa para a formulação de produtos menos nocivos (Bastos *et al.*, 2023; Miranda *et al.*, 2016).

As Piperáceas (Piperales: Piperaceae) têm se destacado em pesquisas relacionadas aos OE's, graças à sua capacidade de produzir expressivas quantidades de metabólitos secundários com propriedades inseticidas. Compostos como alcaloides, flavonoides e terpenos, amplamente presentes nessa família, têm sido identificados como os princípios ativos responsáveis por esses efeitos (Mgbeahuruike *et al.*, 2017; Souza *et al.*, 2020). Entre as Piperáceas, o gênero *Piper* se sobressai por suas propriedades químicas únicas, oferecendo vasto potencial para aplicações em diferentes áreas, incluindo o controle de pragas e doenças (Krinski *et al.*, 2018; Oliveira, 2019). No Brasil, a biodiversidade desse grupo é especialmente rica, e dados do Sistema de Informações sobre a Biodiversidade Brasileira revelam a existência de mais de 198 espécies de *Piper* registradas no território nacional (SIBBR, 2025).

Os OE's podem ser obtidos de folhas, raízes, caules, cascas, frutos e flores. Sua utilização está relacionada às propriedades químicas de interesse científico, tecnológico e aplicações comerciais, como nos ramos farmacêutico, alimentícios, cosméticos, aromaterapia, entre outros (Silveira *et al.*, 2012). Entre as espécies brasileiras, *Piper fuliginum* Kunth e *Piper arboreum* Aubl. têm despertado grande interesse científico, sobretudo devido ao seu expressivo potencial na produção de OE's com propriedades inseticidas (Krinski *et al.*, 2018; Vasconcelos, 2019). Esses óleos, compostos por metabólitos bioativos, mostram-se promissores tanto para o desenvolvimento de alternativas sustentáveis no manejo de pragas quanto para outras aplicações na agricultura (Bastos *et al.*, 2023).

Nos cultivos brasileiros de soja, muitas lagartas desfolhadoras conseguem se desenvolver e proliferar rapidamente, gerando grandes perdas financeiras para os produtores (Wordel Filho *et al.*, 2016). Entre elas, o complexo *Spodoptera* vem causando grandes perdas nessa cultura. *S. frugiperda*, *S. cosmioides* e *S. eridania* são as mais relevantes em Mato Grosso e merecem destaque no manejo fitossanitário (Moreira; Aragão, 2009; Wordel Filho *et al.*, 2016). Para conter os danos dessas pragas nos sistemas agrícolas, o uso de organofosforados, carbamatos e piretróides tem sido a principal estratégia de controle, porém esses produtos apresentam baixa eficácia e falhas de controle são comuns, devido à alta tolerância aos inseticidas mais utilizados no mercado (Carvalho *et al.*, 2013).

Desse forma, a baixa eficácia dos inseticidas convencionais, aliada à alta tolerância dessas pragas, exige a busca por alternativas mais eficientes e ambientalmente seguras (Spletozer *et al.*, 2021). Nesse contexto, o uso de óleos essenciais surge como uma estratégia promissora para o manejo integrado de pragas, combinando eficácia biológica com menor

impacto ambiental e permitindo um manejo menos nocivo e mais sustentável (Côrrea; Salgado, 2011). Estudos destacam o potencial de espécies como *P. arboreum* e *P. fuligineum* para a extração de óleos essenciais, pois os óleos produzidos por essas plantas possuem propriedades larvicidas e efeitos subletais relevantes contra lagartas, pragas importantes da cultura da soja (Cruz, 2012; Dutra, 2018; Krinski *et al.*, 2018; Vasconcelos, 2019).

Em razão dessas questões, esta dissertação foi estruturada em dois capítulos, focados nos efeitos larvicidas e subletais de óleos essenciais de *P. arboreum* e *P. fuligineum* sobre espécies de lepidópteros-praga do complexo *Spodoptera*, sendo elas *S. frugiperda*, *S. cosmioides* e *S. eridania*. O primeiro capítulo explorou esses efeitos utilizando o método de exposição por contato, enquanto o segundo abordou o método de exposição por ingestão. Em ambos os capítulos avaliaram, além da mortalidade, os efeitos subletais provocados pela utilização desses óleos. Esses trabalhos encaminham um novo entendimento sobre a utilização de óleos de piperáceas para controle de lagartas.

1.1 Referências Bibliográficas

- BASTOS, J. S. F. *et al.* Gênero Piper: Aspectos botânicos, químicos e biológicos de suas espécies. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 3, n. 8, p. 127-159, 2023. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/wp-content/uploads/2023/12/aspectos-botanicos.pdf>. Acesso em: 10 dez., 2024.
- BUSATO, N. V. Modeling strategies for essential oil extraction by hydrodistillation and steam distillation. **Ciência Rural**, v. 44, n. 9, p.1574-1582, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20121330>. Acesso em: 5 dez., 2024.
- CAPOANE, V. Expansão da Fronteira Agrícola no estado de Mato Grosso entre os anos de 1988 e 2018. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 44, p. 73–98, 2022. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/8076>. Acesso em: 20 dez., 2025.
- CARVALHO, R. A. *et al.* Investigating the molecular mechanisms of organophosphate and pyrethroid resistance in the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. **PLoS One**, v. 8, n. 4, p. 1-13, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062268>. Acesso em: 20 nov., 2024.
- CNA. CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. **OCDE-FAO: Perspectivas Agrícolas 2023–2032**. São Paulo: CNA, 2023. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/storage/arquivos/Sumario-Executivo-Perspectivas-Agricolas-edicao-2023.pdf>. Acesso em: 19 out., 2024.
- CORRÊA, J. C. R.; SALGADO, H. R. N. Insecticidal activities of plants and applications: a review. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 13, n. 4, p.500-506, 2011.

Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-05722011000400016>. Acesso em: 1 dez., 2024.

CRUZ, G. S. Efeitos subletais de óleos essenciais associados com *Bacillus thuringiensis* var. aizawai sobre *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). 2012. 81 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Entomologia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/5976>. Acesso: 03 fev., 2025.

DUTRA, K. A. Avaliação dos óleos essenciais de Piperaceae sobre a Toxicidade e Parâmetros Fisiológicos em *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) e Efeito Sinergista dos seus componentes majoritários. 2018. 127 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Entomologia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/7735>. Acesso: 03 fev., 2025.

HAMPF, A. C. *et al.* Biotic Yield Losses in the Southern Amazon, Brazil: Making Use of Smartphone-Assisted Plant Disease Diagnosis Data. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, n. 1, p. 1-16, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.621168>. Acesso: 03 jul., 2025.

KRINSKI, D.; FOERSTER, L. A.; DESCHAMPS, C. Ovicidal effect of the essential oils from 18 Brazilian *Piper* species: controlling *Anticarsia gemmatilis* (Lepidoptera, Erebidae) at the initial stage of development. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 40, n. 1, p. 1-10, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.35273>. Acesso em: 5 nov., 2024.

LOPES, C. V. A. *et al.* Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Saúde em Debate**, v. 42, n. 117, p. 518-534, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-1104201811714>. Acesso em: 10 dez., 2024.

MGBEAHURUIKE, E. E. *et al.* Bioactive compounds from medicinal plants: Focus on Piper species. **South African Journal of Botany**, v. 112, n. 1, p. 54-69, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.05.007>. Acesso em: 10 dez., 2024.

MIRANDA, C. A. S. F. *et al.* Óleos essenciais de folhas de diversas espécies: propriedades antioxidantes e antibacterianas no crescimento de espécies patogênicas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 1, p. 213-220, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20160025>. Acesso em: 19 jan., 2025.

MORANDI, M. A. B. *et al.* **Agricultura & meio ambiente: a busca pela sustentabilidade**. Brasília: Embrapa, 2024. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1168446>. Acesso em: 20 jun., 2025.

MOREIRA, H. J. C.; ARAGÃO, F. D. **Manual de Pragas da Soja**. Campinas: Agrolink, 2009. Disponível em: [https://www.agrolink.com.br/downloads/Manual_de_pragas_de_soja%20\(1\).pdf](https://www.agrolink.com.br/downloads/Manual_de_pragas_de_soja%20(1).pdf). Acesso em: 20 out., 2024.

OLIVEIRA, A. B. *et al.* **Resultados do manejo integrado de pragas da soja na safra 2020/2021 no Paraná.** Londrina: Embrapa Soja, 2022. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1142269/1/Doc-443.pdf>. Acesso em: 5 out., 2024.

OLIVEIRA, C. N. *et al.* Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. **Crop Protection**, v. 56, n. 1, p. 50-54, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.10.022>. Acesso em: 19 jul., 2025.

OLIVEIRA, M. S. *et al.* Phytochemical profile, antioxidant activity, inhibition of acetylcholinesterase and interaction mechanism of the major components of the *Piper divaricatum* essential oil obtained by supercritical CO₂. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 145, n. 1, p. 74-84, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.12.003>. Acesso em: 10 out., 2024.

PICANÇO, M. C. *et al.* **Tópicos de Manejo Integrado de Pragas II.** Viçosa: Departamento de Entomologia, 2023. Disponível em: <https://www.protecaodeplantas.ufv.br/wp-content/uploads/2023/04/manejo02.pdf>. Acesso em: 20 dez., 2025.

QUINTAM, C. P.; ASSUNÇÃO, G. M. Perspectivas e Desafios do Agronegócio brasileiro frente ao Mercado Internacional. **Revista Científica Multidisciplinar**, v. 4, n. 3, p. 1-21, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.47820/recima21.v4i7.3641>. Acesso em: 19 jan., 2025.

SIBBR. SISTEMA DE INFORMAÇÕES SOBRE A BIODIVERSIDADE BRASILEIRA. **Piper L.** Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil e Lista da Flora do Brasil, 2025. Disponível em: <https://ala-bie.sibbr.gov.br/ala-bie/species/275140#classification>. Acesso em: 10 jan., 2025.

SILVEIRA, C. S. Levantamento e Análise de Métodos de extração de Óleos Essenciais. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n.15, p. 2039-2052, 2012. Disponível em: <https://conhecer.org.br/enciclop/2012b/ciencias%20exatas%20e%20da%20terra/levantamento%20e%20analise.pdf>. Acesso em: 5 dez., 2024.

SOUZA, M. T. *et al.* Chemical composition of essential oils of selected species of *Piper* and their insecticidal activity against *Drosophila suzukii* and *Trichopria anastrephae*. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 13056-13065, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07871-9>. Acesso em: 10 dez., 2024.

SPLETOZER, A. G. *et al.* Plantas com potencial inseticida: enfoque em espécies amazônicas. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 2, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509832244>. Acesso em: 5 jan., 2024.

STADUTO, J. A. R. *et al.* Desenvolvimento rural do Estado do Mato Grosso por bioma: uma análise do “vazio”. **Revista Política e Planejamento Regional**, v. 5, n. 3, p. 260-283, 2018. Disponível em: <https://www.revistappr.com.br/artigos/publicados/artigo->

[desenvolvimento-rural-do-estado-do-mato-grosso-por-bioma-uma-analise-do-vazio.pdf](#).

Acesso em: 20 dez., 2025.

WORDEL FILHO, J. A. *et al.* **Pragas e doenças do milho:** Diagnose, danos e estratégias de manejo. Florianópolis: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 2016. Disponível em:

https://circam.epagri.sc.gov.br/circam_arquivos/agroconnect/boletins/BT_PragasDoencasMilho.pdf. Acesso em: 20 out., 2024.

2 CAPÍTULO 1: AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE *Piper arboreum* E *Piper fuligineum* COM MECANISMO DE AÇÃO POR CONTATO PARA O CONTROLE DE LEPIDÓPTEROS-PRAGA DA CULTURA DA SOJA

Resumo: Os lepidópteros-praga do gênero *Spodoptera* apresentam elevado potencial de danos à produção agrícola, o que tem levado ao uso intensivo de inseticidas convencionais. Entretanto, produtos naturais emergem como alternativas sustentáveis para o manejo desses organismos. Neste estudo, os efeitos da exposição por contato aos óleos extraídos de *Piper arboreum* e *P. fuligineum* foram avaliados em larvas de *S. frugiperda*, *S. cosmioides* e *S. eridania*, por meio de aplicações em diferentes concentrações (0,25, 0,5, 1, 2 e 4%). Os resultados foram comparados ao inseticida comercial Ampligo® e aos controles negativos (água e Tween®), com análise estatística realizada GLM's e testes de Tukey. Observou-se que, para *S. frugiperda*, a concentração de 4% de ambos os óleos resultou em mortalidade de 86,67%, superando o controle positivo. Para *S. cosmioides*, todas as concentrações testadas apresentaram eficácia semelhante ao inseticida comercial. Em *S. eridania*, destacaram-se elevadas taxas de mortalidade com 0,25% de *P. arboreum* e com 1 e 4% de *P. fuligineum*, conforme demonstrado pelas curvas de sobrevivência e pelas estimativas de CL₅₀ e CL₉₀, entretanto, a ausência de efeito letal na concentração de 2 % não foi esclarecida pelos dados obtidos. Além do efeito larvicida, os tratamentos provocaram alterações subletais, incluindo formação de placas necróticas, interferência na ecdise e redução do peso das pupas, comprometendo o desenvolvimento e a vitalidade dos sobreviventes. A discussão ressalta o efeito sinérgico dos terpenos presentes nos óleos, que atuam diretamente nas membranas celulares e nos sistemas fisiológicos das lagartas, reforçando o potencial desses óleos como alternativas viáveis para o manejo integrado e sustentável de pragas, e indicando a necessidade de estudos futuros sobre aplicação em campo e avaliação dos compostos isolados

Palavras-chave: Biopesticidas; Extratos Vegetais; Agricultura Sustentável; Terpenos.

Abstract: Pest lepidopterans of the genus *Spodoptera* pose a significant threat to agricultural production, leading to the intensive use of conventional insecticides. However, natural products are emerging as sustainable alternatives for managing these pests. In this study, the effects of contact exposure to oils extracted from *Piper arboreum* and *P. fuligineum* were evaluated on larvae of *S. frugiperda*, *S. cosmioides*, and *S. eridania*, using applications at different concentrations (0.25, 0.5, 1, 2, and 4%). The results were compared to the commercial insecticide Ampligo® and negative controls (water and Tween®), with statistical analysis performed using GLMs and Tukey's tests. For *S. frugiperda*, the 4% concentration of both oils resulted in 86.67% mortality, surpassing the positive control. For *S. cosmioides*, all tested concentrations showed efficacy comparable to the commercial insecticide. In *S. eridania*, high mortality rates were observed with 0.25% of *P. arboreum* and with 1% and 4% of *P. fuligineum*, as demonstrated by survival curves and estimates of LC₅₀ and LC₉₀; however, the absence of lethal effect at the 2% concentration was not clarified by the data obtained. Beyond their larvicidal effect, the treatments caused sublethal alterations, including the formation of necrotic plaques, interference with molting, and reduced pupal weight, compromising development and vitality of survivors. The discussion highlights the synergistic effect of terpenes present in the oils, which act directly on the cellular membranes and physiological systems of the larvae, reinforcing the potential of these oils as viable alternatives for integrated and sustainable pest management, and

indicating the need for further studies on field application and evaluation of isolated compounds.

Keywords: Biopesticides; Plant Extracts; Sustainable Agriculture; Terpenes.

2.1 Introdução

A cultura da soja no Brasil é de extrema importância, impulsionando a economia nacional, gerando empregos e promovendo avanços tecnológicos no campo (Ferrarini, 2021). A soja sustenta uma ampla cadeia produtiva, que abrange desde a produção de farelo e óleo até o setor de biodiesel, com o mercado global avaliado em aproximadamente US\$ 198 bilhões em 2024 e projeção de crescimento para US\$ 278 bilhões até 2029 (Mordor Intelligence, 2024). A safra de soja 2024/25 está estimada em 166,33 milhões de toneladas, representando um aumento de cerca de 18,61 milhões de toneladas em comparação à safra anterior, que sofreu redução devido às estiagens (CONAB, 2025). A produtividade média projetada é de 3.509 kg/ha, superior aos 3.201 kg/ha registrados em 2023/24, evidenciando uma recuperação significativa atribuída à melhoria das condições climáticas (CONAB, 2025).

Essas plantas são atacadas por uma série de pragas, como lepidópteros do complexo *Spodoptera*, que apresentam alto potencial danoso à cultura, resultando em grandes perdas (Picanço *et al.*, 2023). Devido à elevada capacidade reprodutiva, voracidade e poder de dispersão, essas espécies conseguem se instalar e colonizar os ambientes agrícolas com alta eficiência (Barros *et al.*, 2010; Brito *et al.*, 2024).

O controle dessas pragas desfolhadoras é tradicionalmente realizado por meio de inseticidas neurotóxicos, como organofosforados, carbamatos e piretróides, que atuam inibindo a enzima acetilcolinesterase ou modulando canais de sódio nos neurônios, causando paralisia e morte dos insetos (Carvalho *et al.*, 2013; Su *et al.*, 2023). Esses compostos são aplicados via pulverização foliar em doses variadas, frequentemente superiores às recomendadas, visando alcançar mortalidades satisfatórias. Entretanto, o uso intensivo favorece o desenvolvimento de resistência em muitas populações de *S. frugiperda* (Mian *et al.*, 2022).

Um dos principais problemas associados a esses inseticidas é que, apesar de altas mortalidades iniciais, o manejo em campo resulta em aplicações repetidas, exercendo pressões seletivas que reduzem a eficácia do controle a longo prazo, tornando necessária a

rotação de inseticidas com diferentes modos de ação (Paredes-Sánchez *et al.*, 2021). Além disso, exposições subletais podem reduzir o desenvolvimento larval e a fecundidade, induzir a atividade de enzimas de detoxificação e promover cruzamentos de resistência, evidenciando a necessidade de estratégias integradas de manejo que explorem novas alternativas de controle (Chen *et al.*, 2023).

Os óleos essenciais, misturas complexas de terpenos, fenilpropanóides e outros metabólitos secundários, têm ganhado destaque como bioinseticidas promissores, pois apresentam alta atividade entomotóxica, baixa persistência ambiental e menor risco de resistência por parte das pragas. Particularmente, os constituintes majoritários dos óleos extraídos de piperáceas atuam, não apenas por contato direto, causando desregulação neurológica e ruptura de membranas celulares, mas também por meio de propriedades repelentes e inibidoras de alimentação e oviposição em diferentes ordens de insetos (Silva *et al.*, 2014). Esses óleos se destacam ainda pela disponibilidade em espécies nativas de fácil cultivo, potencializando estratégias de manejo integrado mais sustentáveis e economicamente viáveis para culturas de grande importância agrícola (Krinski *et al.*, 2018).

Na busca por alternativas para o controle populacional de insetos praga, óleos essenciais de piperáceas têm se destacado como estratégia relevante, considerando seus diversos mecanismos de ação sobre esses insetos (Corrêa; Salgado, 2011). Duas espécies, *Piper arboreum* e *Piper fuligineum*, já são conhecidas por terem efeito inseticida contra lepidópteros da família Noctuidae (Krinski *et al.*, 2018; Pinheiro *et al.*, 2022). Por tanto, este capítulo buscou identificar os efeitos da exposição por contato dos óleos essenciais de *P. arboreum* e *P. fuligineum* sobre *S. frugiperda*, *S. cosmioides* e *S. eridania*, visando identificar os efeitos letais e efeitos subletais sobre esses lepidópteros-praga.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Obtenção, criação e manutenção dos lepidópteros-praga

Os lepidópteros-praga utilizados nos ensaios de mortalidade foram obtidos de populações naturais localizadas na cidade de Tangará da Serra, Mato Grosso. Para o início das criações em laboratório, foram selecionadas as espécies *S. frugiperda*, *S. cosmioides* e *S. eridania*, representantes da família Noctuidae, consideradas importantes pragas da soja,

principal cultura da região de estudo (Ávila; Santos, 2018; Oliveira *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2005).

As lagartas foram coletadas durante a safra 2023/2024, nas proximidades das coordenadas 14°33'27.8"S e 57°31'26.5"W. Após a coleta, os indivíduos foram encaminhados ao Laboratório de Entomologia, localizado no Centro de Pesquisas, Estudos e Desenvolvimento Agroambientais (CPEDA) da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), campus Tangará da Serra. No laboratório, as espécies foram separadas e passaram por quarentena antes de serem inseridas na criação.

Durante todas as fases do desenvolvimento dos insetos, as criações foram mantidas em condições ambientais controladas, com temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, umidade relativa do ar em $75 \pm 5\%$ e fotoperíodo de 12 horas, de modo a simular os intervalos ótimos de desenvolvimento das lagartas.

Após a eclosão dos ovos, as lagartas foram alimentadas com dieta artificial adaptada de Greene *et al.* (1976), realizada por Marchioro (2007), cujos ingredientes estão descritos na Tabela 1). As lagartas de segundo instar foram individualizadas em tubos de ensaio (8,5 cm de altura e 2,5 cm de diâmetro), contendo aproximadamente 2 mL de dieta, procedimento realizado em câmara de fluxo laminar esterilizada. Antes da inserção das lagartas, a dieta foi submetida à desinfecção por luz ultravioleta (UV) durante 1 hora. Os tubos foram fechados com algodão esterilizado.

Tabela 1. Protocolo de dieta artificial utilizada para criação de lepidópteros-praga do gênero *Spodoptera*.

Ingredientes	Quantidade
Água destilada	1 L
Feijão Carioca	62,5 g
Germe de Trigo	50 g
Proteína de Soja	25 g
Caseína (fosfoproteína)	25 g
Levedo (fermento inativo)	31,25 g
Tetraciclina (Antibiótico)	125 mg
Formaldeído (40%)	3 mL
Ácido Ascórbico	3 g
Caragenina	13 g
Nipagim (Metil-p-hidroxibenzoato)	5 g
Mistura de Vanderzant (com vitamina B12)	1 cápsula
Ácido Sórbico	1,5 g

Fonte: Marchioro (2007), adaptado de Greene *et al.* (1976).

Após a pupação, as pupas foram retiradas dos tubos e higienizadas em solução de sulfato de cobre (CuSO_4) a 1% e água esterilizada, por um minuto. Em seguida, foram secas e sexadas conforme a metodologia de Qianjin *et al.* (2019) (Figura 1).

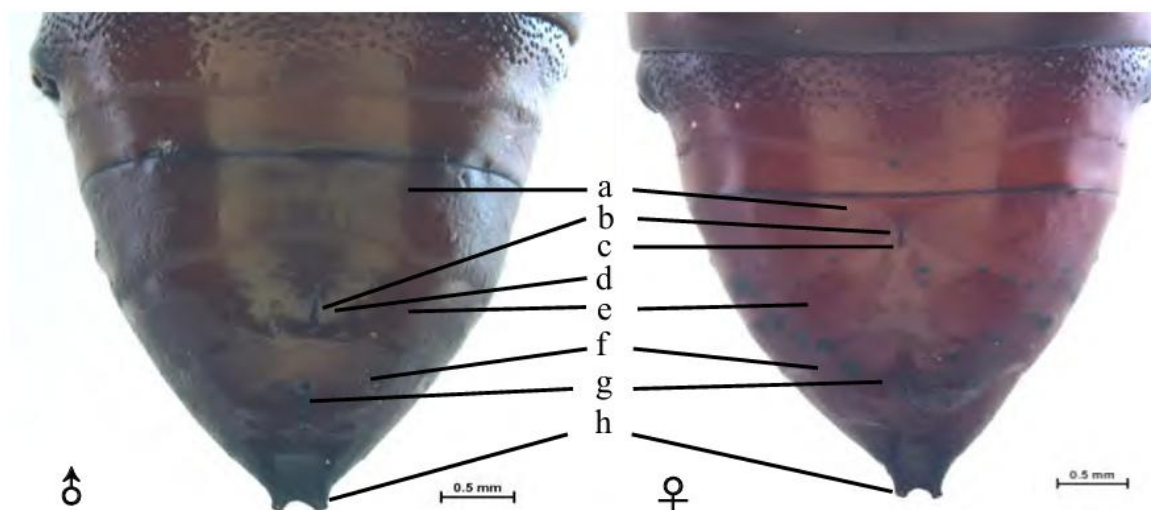


Figura 1. Diferenças morfológicas utilizadas para a sexagem de indivíduos de *Spodoptera* sp. As letras indicam: (a) 8º segmento abdominal; (b) gonópore; (c) orifícios de oviposição; (d) estrumas semicirculares; (e) 9º segmento abdominal; (f) 10º segmento abdominal; (g) ânus; (h) espinho da anca. Esses caracteres permitem a distinção entre machos e fêmeas, conforme descrito por Qianjin *et al.* (2019). Fonte: adaptado de Qianjin *et al.* (2019).

Próximo ao período de emergência, as pupas de cada espécie foram transferidas para gaiolas de PVC (20cm diâmetro e 20cm de altura), fechadas no topo com voil para garantir ventilação. O interior das gaiolas foi revestido com papel, facilitando a coleta dos ovos. As pupas foram distribuídas para garantir uma razão sexual de 1:1. Após a emergência, os adultos foram alimentados com solução de mel a 10% em água. O manejo das gaiolas incluiu a troca dos forros internos para remoção de ovos e excretas, bem como a renovação da dieta, a cada dois dias.

2.2.2 Obtenção do material vegetal

As plantas utilizadas para a extração dos óleos essenciais pertencem à família Piperaceae: *P. arboreum* e *P. fuligineum*. Todo o material vegetal foi coletado no município de Tangará da Serra, em uma área de transição Amazônia-Cerrado (Figura 2). A identificação taxonômica foi realizada pelas especialistas Dra. Micheline Carvalho Silva (Universidade de Brasília - UnB) e Dra. Celice Alexandre Silva (Universidade do Estado de Mato Grosso

- UNEMAT). As exsicatas depositadas no Herbário TANG da Universidade do Estado de Mato Grosso- UNEAMT, *campus* de Tangará da Serra.

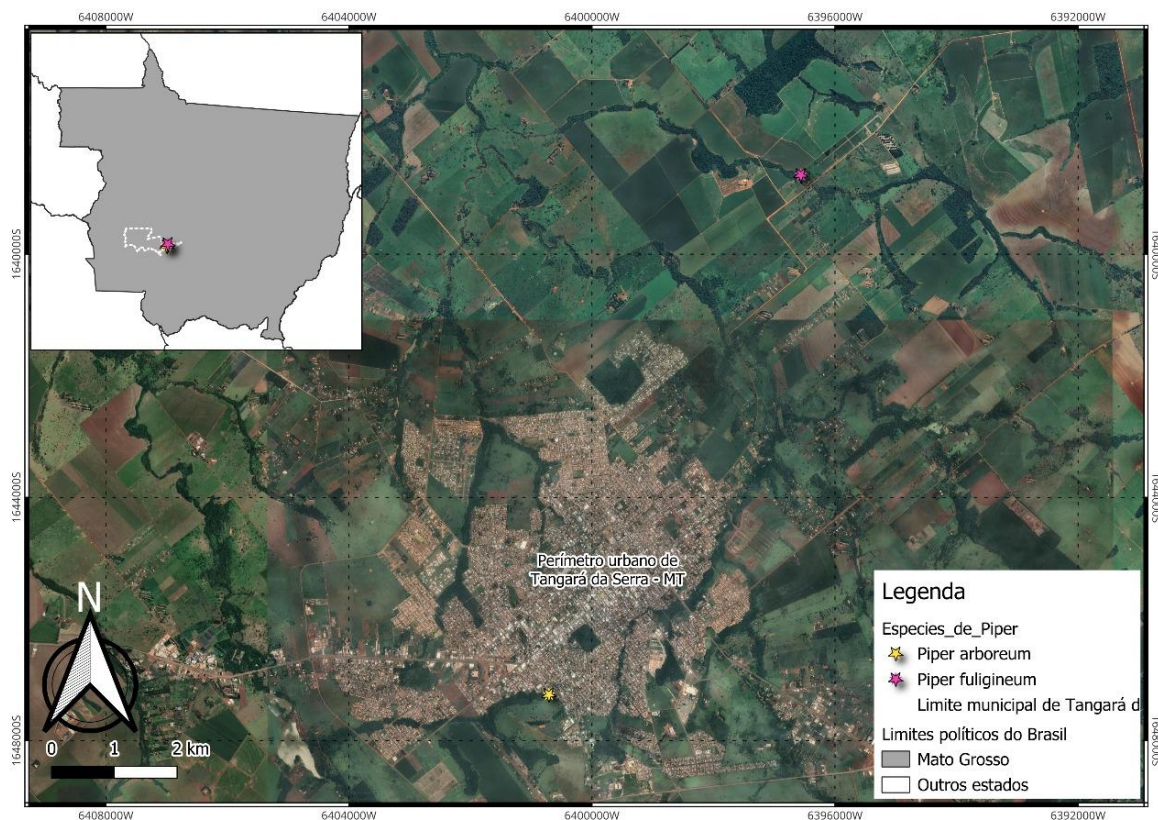


Figura 2. Mapa indicando a localização geográfica das plantas de *Piper* coletadas no município de Tangará da Serra, Estado de Mato Grosso, Brasil, para extração dos óleos essenciais.

2.2.3 Extração dos óleos essenciais

A extração dos óleos essenciais (OE's) das espécies de *Piper*, seguiu o protocolo proposto por Pinheiro (2022). Foram pesadas 100g de folhas secas, em triplicatas, trituradas em liquidificador e acondicionadas em balões volumétricos de 2L contendo 1L de água destilada (Figura 3).



Figura 3. Aparelho de Clevenger utilizado no processo de hidrodestilação para extração dos óleos essenciais de *Piper arboreum* e *Piper fuligineum*.

O método utilizado foi a hidrodestilação, com aparelho tipo Clevenger (Sartor, 2009). Os balões volumétricos permaneceram em mantas aquecedoras por quatro horas para extração dos OE's (Figura 3). Após extração, os óleos foram acondicionados em microtubos de 1,5 μL e armazenados em congelador (-18°C) até as análises químicas e uso nos bioensaios.

2.2.4 Análise Cromatográfica

A composição química dos OE's foi avaliada em triplicata, utilizando cromatógrafo a gás Shimadzu 2030 acoplado a detector de massa sequencial Shimadzu TQ8040 (CG-MS/MS). A separação dos constituintes foi realizada em coluna capilar HP-5MS ($30\text{m} \times 0,25\text{mm} \times 0,25\mu\text{m}$), revestida com fase estacionária de 5% fenil-95%

dimetilpolissiloxano. O hélio foi usado como gás de arraste, a $1,0\text{mL min}^{-1}$. A temperatura do forno foi programada de 60 a 240°C , com incremento de $3^{\circ}\text{C min}^{-1}$, mantida a 240°C por 10 minutos, e a do injetor em 250°C .

Para a quantificação, os OE's (diluídos em hexano a 1%) foram injetados no cromatógrafo Shimadzu GC 2030, equipado com detector de ionização de chama (FID), operando a 250°C . O ar sintético foi usado como gás de arraste, a $1,5\text{mL min}^{-1}$, com mesma coluna e condições anteriores.

A identificação dos constituintes químicos foi realizada pela comparação dos espectros de massa com bibliotecas comerciais (Dool; Kratz, 1963) e pelas taxas de retenção linear (Adams, 2017), após a injeção de uma série homóloga de alcanos (C8–C26) nas mesmas condições experimentais. A classificação dos componentes foi verificada na PubChem Database (NCBI, 2024), visando identificar a natureza dos compostos presentes nos OE's das plantas coletadas.

2.2.5 Mensuração dos efeitos letais e subletais

Para a determinação do potencial larvicida, foi adotado um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com sete tratamentos: cinco concentrações de OE's (0,25; 0,50; 1; 2; e 4%) diluídos em Tween®, além do controle positivo (Ampligo® - Lambda-cialotrina e Clorantraniliprole) e controles negativos (Tween® e água destilada).

Cada tratamento contou com 30 repetições, sendo cada uma composta por um pote plástico de 145mL com uma lagarta de *Spodoptera* sp., em terceiro instar, conforme Parra e Carvalho (1984). O bioensaio consistiu na aplicação $1,0\mu\text{L}$ de cada concentração na região protorácica dos insetos. Para avaliação da mortalidade, considerou-se morto o inseto que não respondeu ao toque de um pincel (Busato *et al.*, 2006). As análises dessa mortalidade foram realizadas após 12, 24, 48, 96 e 120 horas da aplicação. Foram ainda avaliados: número de indivíduos que empuparam, peso das pupas, número de dias até a pupação, número de dias para emergência dos adultos e número de adultos emergidos. Os parâmetros subletais foram comparados com parâmetros da literatura (

Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros biológicos do desenvolvimento de espécies de lepidópteros-praga utilizados como modelo experimental nos testes com óleos essenciais de *Piper arboreum* e *Piper fuliginum*. Os dados apresentados foram obtidos da literatura científica especializada.

Espécie	Duração larva (dias)	Duração pupa (dias)	Peso de pupas (g)
<i>Spodoptera frugiperda</i>	16,5 ^{1,2}	10,6 ^{1,2}	0,103 ³
<i>Spodoptera cosmioides</i>	19,1 ^{4,5}	12,0 ^{4,5}	0,45 ⁷
<i>Spodoptera eridania</i>	14,1 ⁶	9,8 ⁶	0,29 ⁸

Fonte: 1=Busato *et al.* (2005); 2=Rosa & Barcelos (2012); 3=Lima *et al.* (2023); 4=Bavaresco *et al.* (2002); 5=Teodoro *et al.* (2013); 6=Silva *et al.* (2019); 7=Araújo (2009); 8=Oliveira *et al.* (2013).

2.2.6 Análise de dados

Para análise dos dados, os tratamentos foram comparados por meio de Modelos Lineares Generalizados (GLM's) e teste de Tukey a posteriori, com nível de significância de 5%. Para verificar a mortalidade ao longo do tempo, foram construídas curvas de Kaplan-Meier, com comparação entre os tratamentos pelo teste de log-rank, utilizando o pacote Survival (Therneau *et al.*, 2009). Adicionalmente, foram calculadas as concentrações letais que causaram a morte de 30% (CL₃₀), 50% (CL₅₀) e 90% (CL₉₀) dos organismos, pelo método de Probit.

Os efeitos subletais — tempo de larva, tempo de pupa, quantidade de alimento ingerida — foram comparados com GLM's de distribuições apropriadas, sendo os modelos submetidos à análises de variância associada ao teste F para apuração da significância dos fatores. Havendo significância ($p < 5\%$), os dados foram submetidos ao teste de Tukey pareado, com a função emmeans (Russel *et al.*, 2024). Todas as análises foram realizadas no software R versão 4.4.2 (R Core Team, 2024), e os gráficos produzidos com o pacote ggplot2 (Wickham, 2016).

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Análise cromatográfica

A análise da cromatografia dos OE's de *P. arboreum* e *P. fuliginum* (Anexo A) revelou que as espécies apresentam, respectivamente, 37 e 30 componentes. Desses, 17 são compartilhados entre ambas, enquanto 20 componentes são exclusivos de *P. arboreum* e 13 de *P. fuliginum*. Os componentes mais abundantes em *P. arboreum* foram:

biciclogermacreno (19,31%), (E)-cariofileno (10,62%), germacreno D (10,55%), espatulenol (7,89%) e α -pineno (4,04%). Por sua vez, em *P. fuligineum* destacaram-se neo-intermedeol (10,00%), α -selineno (8,02%), germacreno D (6,62%), (E)-cariofileno (6,48%) e β -selineno (6,18%). Os sesquiterpenos hidrocarbonetos foram os compostos mais abundantes nas análises cromatográficas dos OE's analisados (Figura 4).

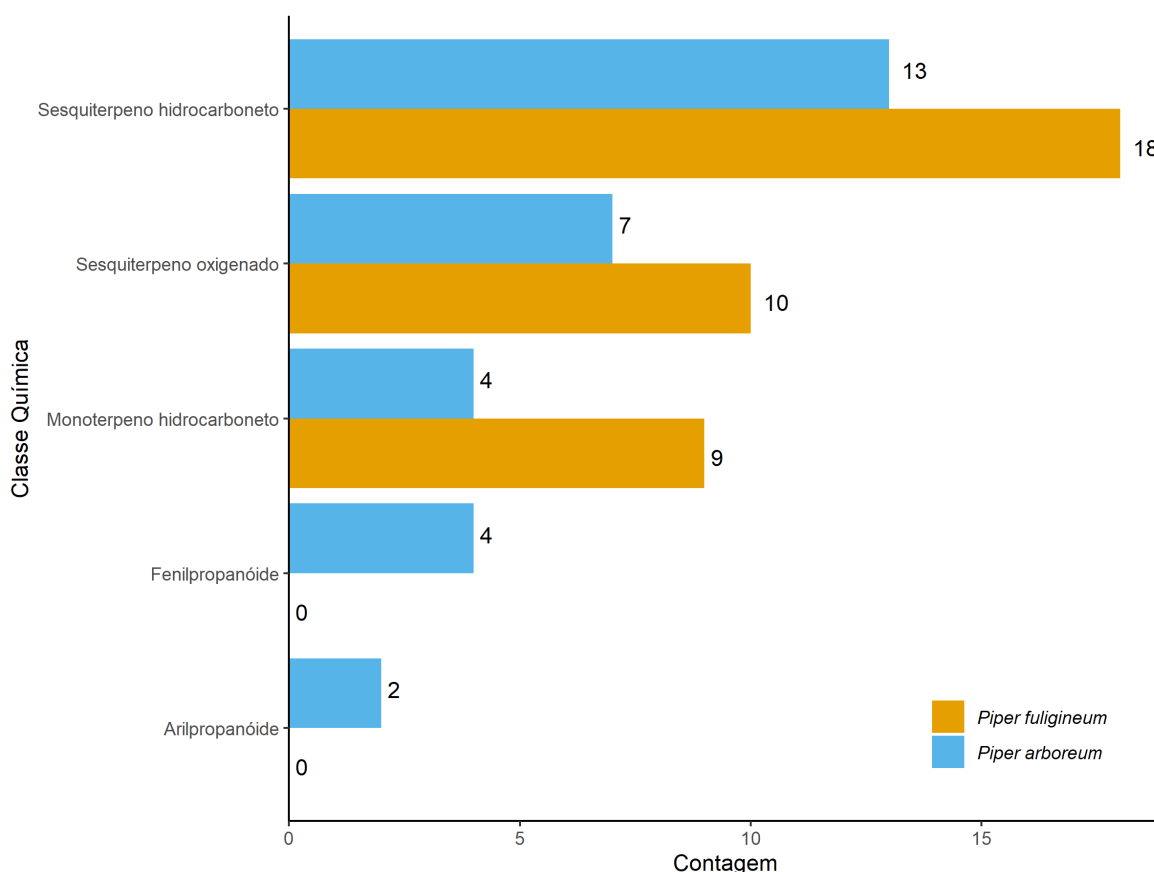


Figura 4. Distribuição quantitativa dos principais constituintes químicos identificados nos óleos essenciais de *Piper arboreum* e *Piper fuligineum*. Fonte: Rezende (2024).

2.3.2 Efeito larvicida dos óleos essenciais

Os OE's de ambas as espécies causaram mortalidade em lagartas das três espécies avaliadas (Tabela 3). Em *S. frugiperda*, o tratamento foi significativo ($\chi^2=164,258$; $p<0,001$), sem diferença entre os óleos ($\chi^2=0,012$; $p=0,913$). As taxas de mortalidades variaram de 36,7% (1% de *P. arboreum*) a 86,7% (4% de *P. fuligineum*), enquanto o controle positivo apresentou mortalidade entre 60,0% e 70,0% (Tabela 3).

Em *S. cosmioides*, houve efeito significativo do tratamento ($\chi^2=203,231$; $p<0,001$) e do óleo ($\chi^2=7,821$; $p=0,005$), com mortalidades entre 40,0% (0,25% de *P. arboreum*) e

90,0% (2 % de *P. fuligineum*), sendo 100 % no controle positivo. Para *S. eridania*, apenas o tratamento foi significativo ($\chi^2=203,340$; $p<0,001$), sem diferença entre os óleos ($\chi^2=0,320$; $p=0,571$) (Tabela 3). As mortalidades oscilaram de 36,67% (2% de *P. fuligineum*) a 76,67% (4 % *P. fuligineum*), atingindo 100 % com Ampligo®.

Tabela 3. Efeito larvicida de óleos de *Piper arboreum* e *Piper fuligineum* em diferentes espécies de lepidópteros-praga com método de contato.

Espécie	Tratamentos	Efeito larvicida (porcentagem $\pm$ desvio padrão)	
		<i>P. arboreum</i>	<i>P. fuligineum</i>
<i>S. frugiperda</i>	0,25%	76,67 $\pm$ 1,43 Aa*	43,33 $\pm$ 1,68 Ba
	0,50%	50,00 $\pm$ 1,70 Ba	56,67 $\pm$ 1,68 ABa
	1%	36,67 $\pm$ 1,63 Ba	46,67 $\pm$ 1,69 Ba
	2%	83,33 $\pm$ 1,26 Aa	80,00 $\pm$ 1,36 Aa
	4%	80,00 $\pm$ 1,36 Aa	86,67 $\pm$ 1,15 Aa
	Ampligo	60,00 $\pm$ 1,66 Ba	70,00 $\pm$ 1,55 Ba
	Tween	10,00 $\pm$ 1,02 Ca	13,33 $\pm$ 1,15 Ca
	Água	6,67 $\pm$ 0,85 Ca	3,33 $\pm$ 0,61 Ca
<i>S. cosmioidea</i>	0,25%	40,00 $\pm$ 1,66 Cb	73,33 $\pm$ 1,50 ABa
	0,50%	60,00 $\pm$ 1,66 Ba	63,33 $\pm$ 1,63 Ba
	1%	73,33 $\pm$ 1,50 Ba	86,67 $\pm$ 1,15 Aa
	2%	70,00 $\pm$ 1,55 Ba	90,00 $\pm$ 1,02 Aa
	4%	76,67 $\pm$ 1,43 Ba	83,33 $\pm$ 1,26 Aa
	Ampligo	100,00 $\pm$ 0,00 Aa	100,00 $\pm$ 0,00 Aa
	Tween	13,33 $\pm$ 1,15 Da	16,67 $\pm$ 1,26 Ca
	Água	6,67 $\pm$ 0,85 Da	3,33 $\pm$ 0,61 Ca
<i>S. eridania</i>	0,25%	66,67 $\pm$ 1,60 Ba	50,00 $\pm$ 1,70 Ba
	0,50%	40,00 $\pm$ 1,66 Ba	66,67 $\pm$ 1,60 Ba
	1%	66,67 $\pm$ 1,60 Ba	76,67 $\pm$ 1,43 Ba
	2%	50,00 $\pm$ 1,70 Ba	36,67 $\pm$ 1,63 Ba
	4%	70,00 $\pm$ 1,55 Ba	76,67 $\pm$ 1,43 Ba
	Ampligo	100,00 $\pm$ 0,00 Aa	100,00 $\pm$ 0,00 Aa
	Tween	10,00 $\pm$ 1,02 Ca	10,00 $\pm$ 1,02 Ca
	Água	6,67 $\pm$ 0,85 Ca	10,00 $\pm$ 1,02 Ca

* Letras diferentes em maiúsculas nas colunas representam diferenças entre os tratamentos e minúsculas nas linhas representam diferença significativa entre os óleos essenciais de *Piper* analisadas, utilizando no teste de Tukey com significância de 5%.

A análise de sobrevivência baseada nas curvas de Kaplan-Meier corroborou os resultados encontrados para as espécies de lepidópteros e os OE's (

Figura 5). Para *S. frugiperda*, houve diferença significativa para *P. arboreum* ($x^2=75,40$; $p<0,001$) e para *P. fuligineum* ($x^2=84,7$; $p<0,001$) e o Ampligo® não atingiu 100% de mortalidade em nenhum dos bioensaios.

Em *S. cosmioides*, observou-se um efeito significativo na aplicação dos óleos essenciais de *P. arboreum* ($\chi^2=92,10$; $p<0,001$) e de *P. fuligineum* ($\chi^2=116$; $p<0,001$). Da mesma forma, em *S. eridania*, a utilização dos óleos essenciais de *P. arboreum* ($\chi^2=98,50$; $p<0,001$) e de *P. fuligineum* ($\chi^2=109,00$; $p<0,001$) também resultou em efeitos significativos. Em ambas as espécies, destaca-se que esse resultado foi fortemente influenciado pela ação do controle positivo, que promoveu mortalidade total (100%) em poucas horas após a aplicação, conforme demonstrado na Figura 5.

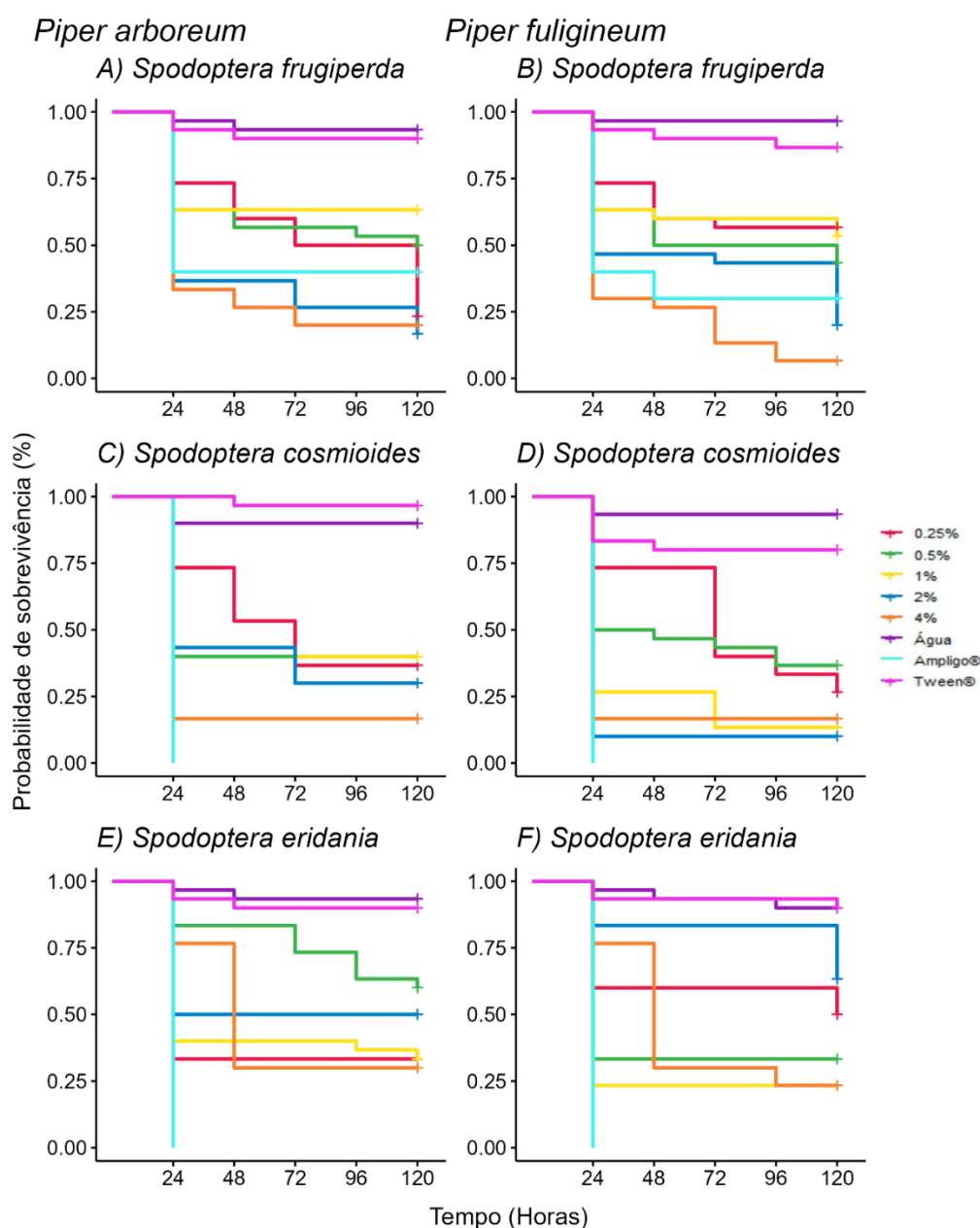


Figura 5. Curva de Kaplan-Meier analisando o desempenho temporal entre os tratamentos experimentais de óleos essenciais de *P. arboreum* e *P. fuligineum* em diferentes espécies de lepidópteros-praga com método de contato. A-C-E: Representam bioensaios com OE de *P. arboreum*; B-D-F: Representam bioensaios com OE de *P. fuligineum*.

As concentrações letais para 50% da população (CL₅₀) indicaram que, em geral, concentrações inferiores a 1% apresentaram bom desempenho de mortalidade nos lepidópteros analisados (Tabela 4). Em *S. frugiperda*, as concentrações apresentaram mortalidades uniformes, com CL₉₀ menores que 10%. Para *S. cosmioides*, o OE de *P. fuligineum* apresentou CL₉₀ de 2,964%, a menor identificada, enquanto *P. arboreum* teve CL₉₀ de 35,365. Já *S. eridania* exigiu concentrações mais elevadas para atingir a CL₉₀ (Tabela 4).

Tabela 4. Concentrações Letais (CL) dos óleos essenciais de *Piper fuligineum* e *Piper arboreum* em diferentes espécies de lepidópteros-praga no método de contato.

Espécie	Óleo Essencial	Concentrações Letais*		
		CL ₃₀	CL ₅₀	CL ₉₀
<i>Spodoptera frugiperda</i>	<i>Piper fuligineum</i>	0,071	0,287	8,861
	<i>Piper arboreum</i>	0,199	0,609	9,424
<i>Spodoptera cosmioides</i>	<i>Piper fuligineum</i>	0,409	0,726	2,964
	<i>Piper arboreum</i>	0,081	0,472	35,365
<i>Spodoptera eridania</i>	<i>Piper fuligineum</i>	0,133	0,727	45,867
	<i>Piper arboreum</i>	0,004	0,472	69,842

* Legenda: CL₃₀= representa a concentração/resposta necessária para causar 30% de mortalidade na população; CL₅₀= representa a concentração/resposta necessária para causar 50% de mortalidade na população; CL₉₀= representa a concentração/resposta necessária para causar 90% de mortalidade na população.

2.3.3 Efeitos subletais dos óleos essenciais

A aplicação tópica dos OE's apresentou efeitos similares nas espécies de lagartas. Inicialmente, observou-se agitação das lagartas, seguida de escurecimento do tegumento. A formação de placas necróticas em *S. frugiperda* (Figura 6), *S. cosmioides* (Figura 7) e *S. eridania* (Figura 8) evidenciou a penetração cuticular dos OE's. As análises também detectaram efeitos subletais, como alteração na viabilidade larval, prolongamento do desenvolvimento e redução no peso das pupas. (5).

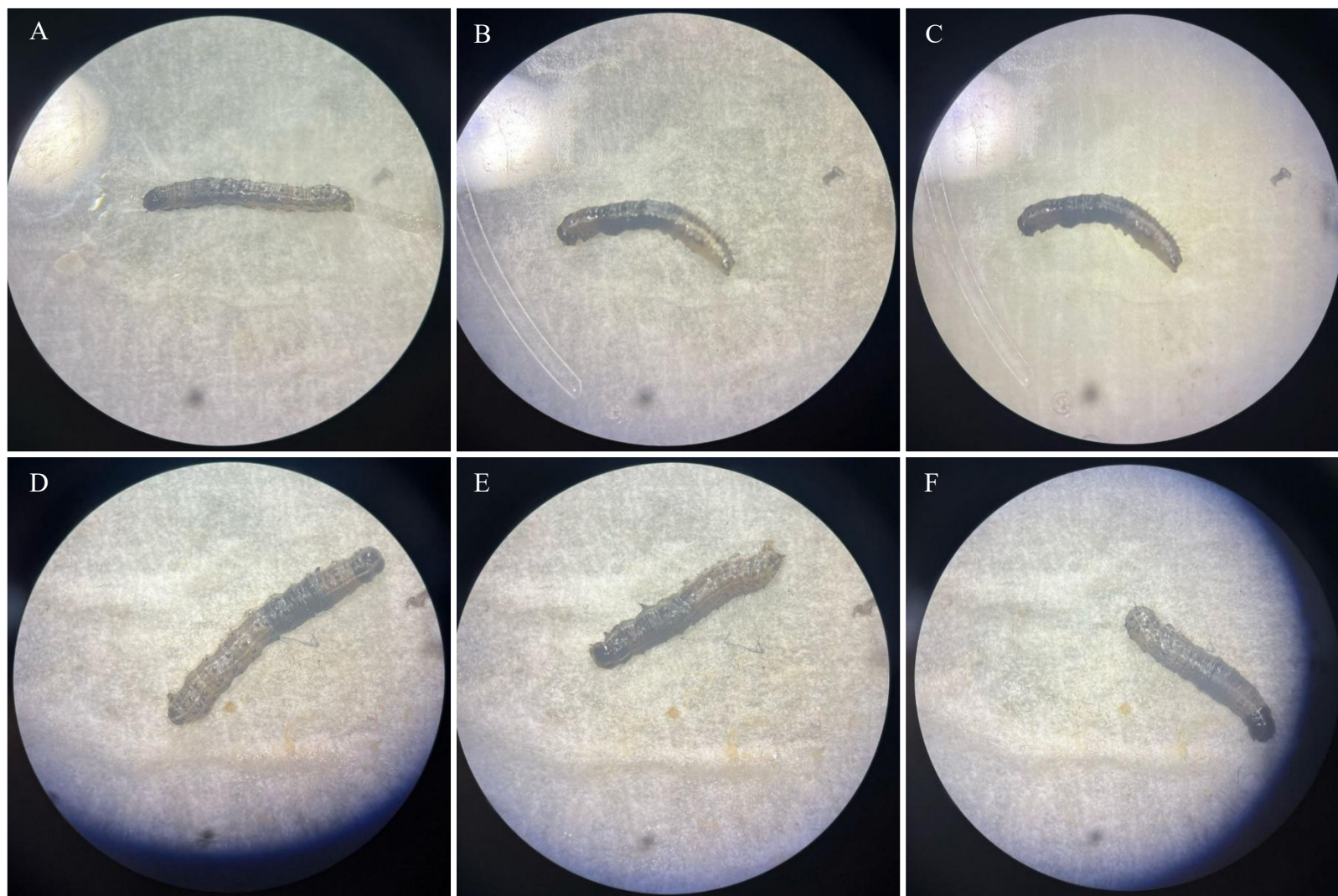


Figura 6. Registro fotográfico dos efeitos do contato de óleos essenciais de *Piper fuligineum* e *Piper arboreum* em *Spodoptera frugiperda*. A-C: Óleo essencial de *Piper fuligineum*; D- F: Óleo essencial de *Piper arboreum*. Fonte: O autor, 2025.

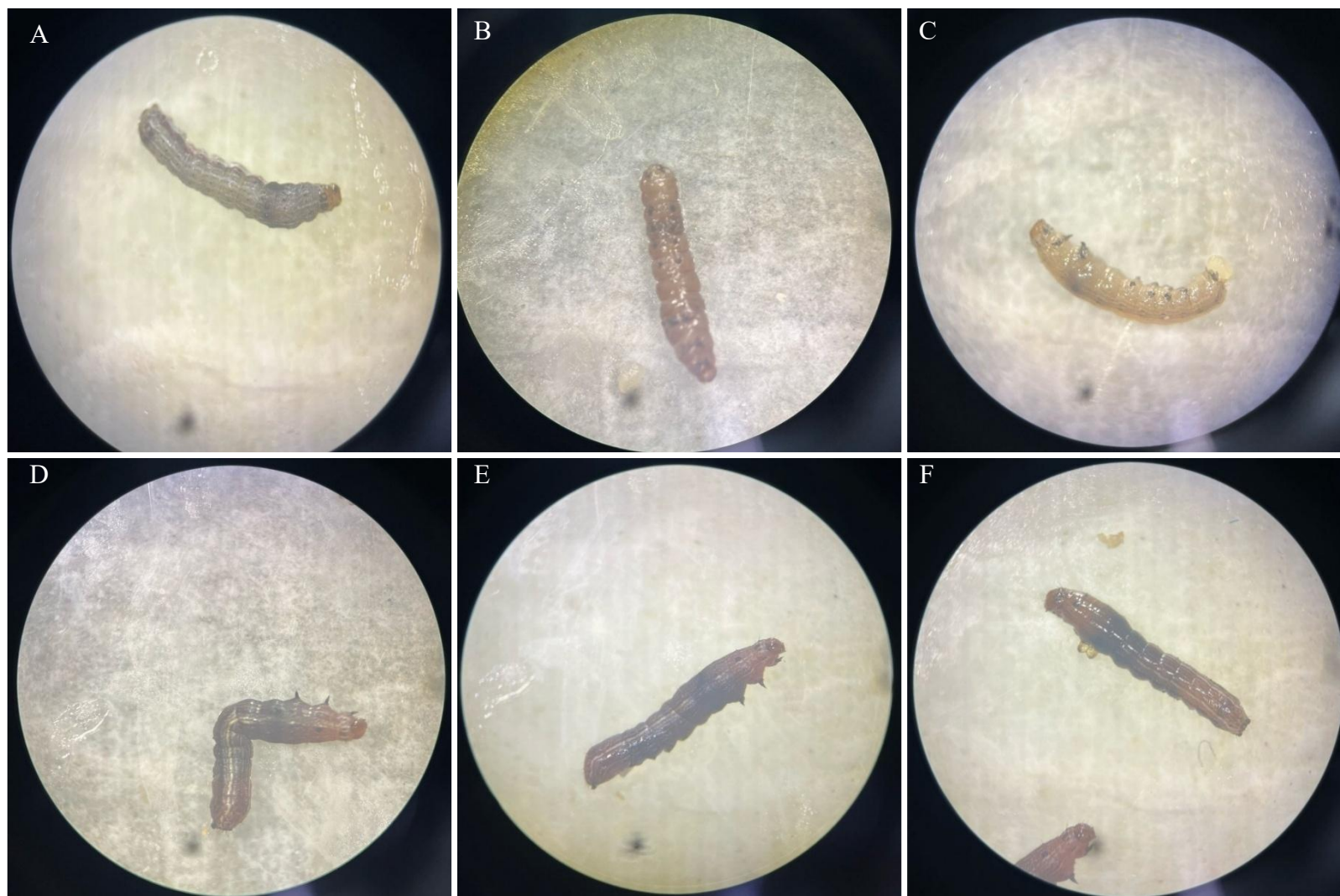


Figura 7. Registro fotográfico dos efeitos do contato de óleos essenciais de *Piper fuliginum* e *Piper arboreum* em *Spodoptera cosmioides*. A-C: Óleo essencial de *Piper fuliginum*; D- F: Óleo essencial de *Piper arboreum*. Fonte: O autor, 2025.

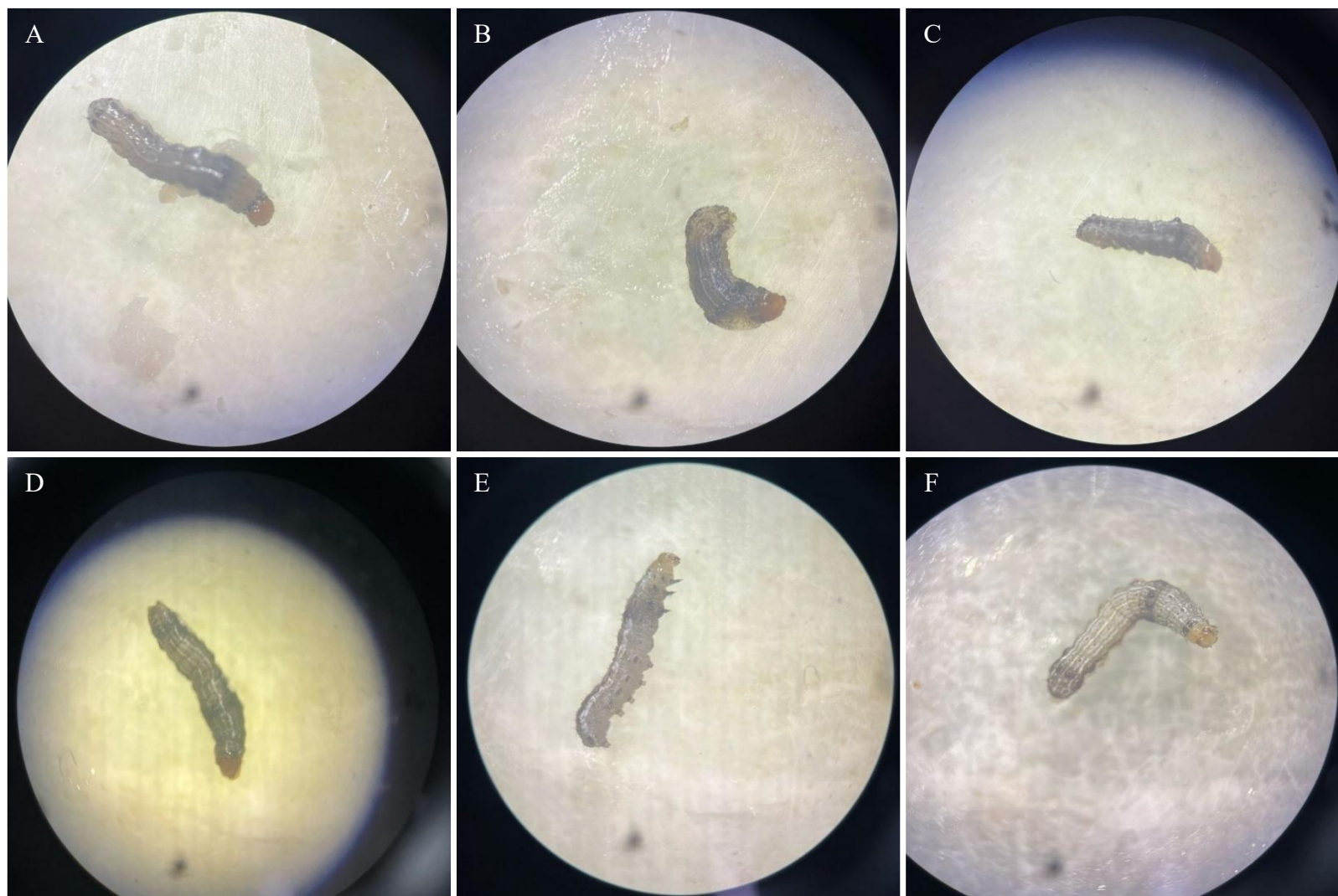


Figura 8. Registro fotográfico dos efeitos do contato de óleos essenciais de *Piper fuliginum* e *Piper arboreum* em *Spodoptera eridania*. A-C: Óleo essencial de *Piper fuliginum*; D- F: Óleo essencial de *Piper arboreum*. Fonte: O autor, 2025.

Para *S. frugiperda*, o tratamento afetou significativamente a viabilidade larval ($\chi^2=1558,82$; $p<0,001$), mas não a espécie do OE ($\chi^2=2,39$; $p=0,122$). A fase larval manteve-se em torno de 12–14 dias sob todos os tratamentos, enquanto os controles negativos prolongaram o desenvolvimento. As mortes na transição pré-pupal ocorreram apenas sob aplicação de óleos, concentrando-se em *P. fuligineum* nas concentrações intermediárias (0,5% e 1%). A fase de pupa também foi afetada apenas pelos tratamentos ($\chi^2=120,74$; $p<0,001$), com duração entre 11,5 e 14 dias para ambos os óleos. O peso das pupas foi significativamente influenciado tanto pelos tratamentos ($F=99,31$; $p<0,001$) quanto pela espécie do óleo ($F=17,36$; $p<0,001$), sendo maior em *P. arboreum*.

Em *S. cosmioides*, tanto o tratamento ($\chi^2=2065,71$; $p<0,001$) quanto o óleo ($\chi^2=53,71$; $p<0,001$) influenciaram o desenvolvimento larval, com duração variando entre 9 e 16 dias. A mortalidade pré-pupal foi observada principalmente em *P. arboreum* nas concentrações mais baixas (0,25 e 1 %), enquanto *P. fuligineum* só causou mortes de pré-pupa na concentração na maior concentração (4 %). A viabilidade pupal foi afetada pelos tratamentos ($\chi^2=89,68$; $p<0,001$), mas não pelo óleo ($\chi^2=1,00$; $p=0,317$), e o peso das pupas foi afetado pelo tratamento ($F=34,45$; $p<0,001$), com efeito marginal do óleo ($F=3,30$; $p=0,071$), ficando entre 0,16 e 0,21 g.

Para *S. eridania*, os tratamentos alteraram significativamente a viabilidade larval ($\chi^2=2757,04$; $p<0,001$) e pupal ($\chi^2=106,86$; $p<0,001$), bem como o peso das pupas ($F=3,61$; $p=0,002$). A espécie de óleo também impactou a fase larval ($\chi^2=7,66$; $p=0,006$) e o peso pupal ($F=7,15$; $p=0,008$). A duração larval e pupal manteve-se entre 12 e 14 dias, sem mortes na transição pré-pupal. O peso médio das pupas variou entre 0,11 g e 0,28 g, sendo menor nos controles negativos.

Tabela 5. Efeito subletais de óleos de *Piper arboreum* e *Piper fuligineum* em diferentes espécies de lepidópteros-praga com método de contato.

Espécie	Tratamentos	Duração da fase larval (dias)		Mortalidade da pré-pupa (n)		Duração da fase de pupa (dias)		Peso da pupa (g)	
		<i>P. arboreum</i>	<i>P. fuligineum</i>	<i>P. arboreum</i>	<i>P. fuligineum</i>	<i>P. arboreum</i>	<i>P. fuligineum</i>	<i>P. arboreum</i>	<i>P. fuligineum</i>
<i>S. frugiperda</i>	0,25%	10,37±0,74 Ba	10,50±0,71 Ba	0 Aa	0 Aa	12,21±0,83 Aa	13,11±0,31 Aa	0,22±0,00 Ba	0,19±0,00 Ba
	0,50%	8,43±0,49 Ba	10,57±0,49 Ba	1 Aa	6 Aa	12,14±0,35 Aa	12,71±0,70 Aa	0,17±0,00 Ba	0,14±0,00 Ba
	1%	8,00±0,00 Ba	8,04±0,01 Ba	0 Aa	7 Aa	11,50±0,50 Aa	11,54±0,51 Aa	0,11±0,00 Ca	0,09±0,00 Ca
	2%	10,43±0,49 Ba	10,59±0,60 Ba	0 Aa	0 Aa	13,29±0,45 Aa	13,24±0,88 Aa	0,26±0,03 Aa	0,25±0,03 Aa
	4%	8,88±0,33 Ba	9,00±0,00 Ba	0 Aa	1 Aa	12,29±0,59 Aa	14,14±0,35 Aa	0,24±0,00 Aa	0,21±0,00 Aa
	Ampligo	8,42±0,49 Ba	8,42±0,49 Ba	0 Aa	0 Aa	12,00±0,41 Aa	12,17±0,37 Aa	0,17±0,00 Ba	0,18±0,00 Ba
	Tween	13,11±0,31 Aa	14,14±0,52 Aa	0 Aa	0 Aa	15,00±1,04 Aa	14,96±0,33 Aa	0,26±0,01 Aa	0,27±0,00 Aa
	Água	14,14±0,52 Aa	13,11±0,31 Aa	0 Aa	0 Aa	15,29±0,84 Aa	14,93±0,47 Aa	0,22±0,01 Aa	0,24±0,00 Aa
<i>S. cosmioides</i>	0,25%	16,43±6,82 Ba	14,17±6,83 Ba	7 Aa	2 Aa	10,78±2,25 Ba	11,70±1,90 Aa	0,20±0,01 Ba	0,19±0,01 Ba
	0,50%	14,20±7,27 Ba	12,60±6,51 Ba	4 Aa	0 Aa	11,17±2,27 Ba	12,00±0,00 Aa	0,21±0,07 Ba	0,23±0,02 Ba
	1%	12,10±6,80 Ba	10,37±5,29 Ba	2 Aa	0 Aa	11,25±1,92 Ba	12,25±0,43 Aa	0,23±0,01 Ba	0,22±0,01 Ba
	2%	12,73±6,71 Ba	9,27±3,80 Ba	3 Aa	0 Aa	11,50±2,29 Ba	12,00±0,00 Aa	0,24±0,01 Bb	0,20±0,00 Bb
	4%	14,53±6,42 Bb	9,67±4,25 Ba	0 Aa	3 Aa	10,00±2,45 Ba	9,25±2,17 Ba	0,18±0,03 Ba	0,16±0,01 Bb
	Ampligo	0,00±0,00 Ca	0,00±0,00 Ca	0 Aa	0 Aa	0,00±0,00 Ca	0,00±0,00 Ca	0,00±0,00 Ca	0,00±0,00 Ca
	Tween	23,17±2,86 Aa	21,57±5,35 Aa	0 Aa	0 Aa	13,24±0,43 Aa	13,15±0,36 Aa	0,37±0,12 Aa	0,35±0,02 Aa
	Água	22,63±3,95 Aa	22,67±3,82 Aa	0 Aa	0 Aa	14,00±0,38 Aa	14,31±0,53 Aa	0,40±0,16 Aa	0,35±0,01 Aa
<i>S. eridania</i>	0,25%	8,00±0,76 Ba	8,13±0,62 Ba	0 Aa	0 Aa	13,29±0,45 Ba	13,93±0,85 Ba	0,24±0,03 Ca	0,26±0,03 Ca
	0,50%	8,56±0,64 Ba	9,00±0,00 Ba	0 Aa	0 Aa	12,67±1,60 Ba	12,40±0,66 Ba	0,23±0,00 Ca	0,19±0,00 Ca
	1%	10,57±0,49 Ba	10,57±0,49 Ba	0 Aa	0 Aa	12,25±0,83 Ba	11,71±0,70 Ba	0,20±0,00 Ca	0,24±0,00 Ca
	2%	8,20±0,54 Ba	8,43±0,49 Ba	0 Aa	0 Aa	12,33±0,47 Ba	13,05±0,83 Ba	0,19±0,02 Ca	0,19±0,02 Ca
	4%	8,00±0,00 Ba	8,04±0,00 Ba	0 Aa	0 Aa	12,22±0,63 Ba	11,67±0,47 Ba	0,11±0,00 Ba	0,11±0,00 Ba
	Ampligo	0,00±0,00 Ca	0,00±0,00 Ca	0 Aa	0 Aa	0,00±0,00 Ca	0,00±0,00 Ca	0,01±0,01 Ca	0,00±0,00 Ca
	Tween	15,04±1,45 Aa	14,96±1,12 Aa	0 Aa	0 Aa	16,79±1,37 Aa	15,11±1,05 Aa	0,26±0,00 Aa	0,24±0,00 Aa
	Água	15,21±1,29 Aa	14,71±0,75 Aa	0 Aa	0 Aa	16,29±1,33 Aa	15,50±0,87 Aa	0,28±0,03 Aa	0,22±0,00 Aa

* Letras diferentes em maiúsculas nas colunas representam diferenças entre os tratamentos e minúsculas nas linhas representam diferença significativa entre os óleos essenciais de *Piper* analisadas, utilizando no teste de Tukey com significância de 5%.

2.4 Discussão

Este estudo utilizou a análise dos componentes dos OE's de *P. arboreum* e *P. fuliginum* segundo Rezende (2024), pois representarem indivíduos coletados nas mesmas localidades, compreendendo uma mesma população. Os OE's apresentaram predominância de sesquiterpenos. Em *P. arboreum*, destacaram-se biciclogermacreno, germacreno D e óxido de cariofileno, com variações quantitativas entre 12% e 28% como já relatado em estudos anteriores (Potzerheim *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2014).

O perfil químico de *P. fuliginum* revelou uma menor predominância de sesquiterpenos em comparação a *P. arboreum*, destacando-se ainda a presença de monoterpenos e fenilpropanóides. Estudos de Mazzeu *et al.* (2018) também relataram, nessa espécie, a ocorrência de kavalactonas e derivados do ácido benzóico, além de α -pineno, (E)-cariofileno e outros fenilpropanóides, indicando possíveis variações quimiotípicas ou influências ambientais regionais sobre a composição dos óleos essenciais. Essas diferenças reforçam a complexidade do metabolismo secundário da família Piperaceae, conforme observado por Krinski *et al.* (2018).

Os sesquiterpenos representam a maior parte em ambas as espécies, como observada em espécimes coletas em Mata Atlântica (Potzernheim *et al.*, 2006). Esses compostos, sintetizados via farnesil pirofosfato (FPP) em muitas plantas, frequentemente sofrem modificações que geram sesquiterpenoides com variadas funcionalidades (Awouafack *et al.*, 2013; Costa, 2015; Mazzeu, 2014). Por serem mais pesados e menos voláteis que monoterpenos, conferem maior estabilidade às formulações de OE's (Grassmann; Elstner, 2003).

Estes componentes são destacados como principais agentes tóxicos para insetos (Dutra, 2018). Sesquiterpenos isolados, como biciclogermacreno, germacreno D e β -cariofileno, exibem atividade inseticida significativa contra pragas agrícolas, promovendo mortalidade direta em lagartas (Alarcon *et al.*, 2013). Dutra (2018) também identificou ação sinérgica em combinações binárias de terpenos, como α -felandreno (exclusivo de *P. arboreum*) e α -pineno e β -pineno (presentes em ambas), que apresentaram maior toxicidade para *S. frugiperda*. Misturas de terpenos em óleos essenciais frequentemente mostram toxicidade superior aos componentes isolados, devido a efeitos sinérgicos que potencializam

a penetração cuticular e sobrecarregam mecanismos de detoxificação dos insetos, como o observado por Scalerandi *et al.* (2018) em *Musca domestica*.

Os terpenoides predominantes nos OE's de *Piper* (bicyclegermacreno, germacreno D e (E)-cariofileno) têm afinidade com a bicamada lipídica das células cuticulares, promovendo desorganização e aumento da permeabilidade. Além disso, inibem enzimas detoxificantes (como as esterases e a glutathione-S-transferase), elevando o estresse oxidativo celular e provocando disfunções neurológicas por antagonismo dos receptores colinérgicos (Dutra, 2018; Scalerandi *et al.*, 2018). Essa ação combinada explica a letalidade rápida e a ocorrência de placas necróticas após aplicações tópicas (Côrrea; Salgado, 2011).

Os resultados deste trabalho evidenciam a capacidade dos OE's de *P. arboreum* e *P. fuliginum* como agentes larvicidas sobre lepidópteros-praga do complexo *Spodoptera*. Os OE's demonstraram efeito larvicida significativo, com eficiência variável entre as espécies e concentrações. Para *S. frugiperda*, as concentrações de 2% e 4% resultaram em maior mortalidade em ambas as espécies de *Piper*. Em *S. cosmioides*, não houve diferenças entre os OE's. Para *S. eridania*, apenas a concentração de 0,25% de *P. arboreum* proporcionou mortalidade semelhante ao controle, enquanto outras concentrações não diferiram estatisticamente.

Estudos com *P. tuberculatum* sobre *S. frugiperda* mostraram 90% de mortalidade em 0,1850 mg/μL (0,0185%) de óleo em 24–48 h, evidenciando o poder inseticida de sesquiterpenos predominantes nesse gênero (Soberón-Risco *et al.*, 2012). Composições ricas em dillapiol e outros fenilpropanóides de *Piper* da região amazônica apresentaram mortalidade superior à 70% em concentrações de 0,5–2,0% (Rodrigues *et al.*, 2021). Os principais sesquiterpenos (bicyclogermacreno, germacreno D e (E)-cariofileno) atuam desorganizando membranas celulares, inibindo enzimas detoxificantes e interferindo no sistema nervoso dos insetos, especialmente em sinergia com monoterpenos, como α -pineno (Durofil *et al.*, 2021; Pereira Filho *et al.*, 2021). Esta combinação pode explicar por que concentrações intermediárias (2%–4%) frequentemente apresentam mortalidades mais elevadas, enquanto concentrações mais baixas ou altas, podem levar à saturação de receptores ou volatilização excessiva do óleo (Garrido-Miranda *et al.*, 2022).

Aplicações tópicas têm sido destaque em estudos com OE's, já que sistemas de monocultura com aplicações mecanizadas tendem a utilizar produtos de efeito de choque (Sombra *et al.*, 2020). Os dados obtidos revelam que os OE's de *P. fuliginum* e *P. arboreum*

apresentaram potencial para uso dessa forma, sendo similares em efetividade ao controle positivo, o inseticida Ampligo®.

Esses OE's já são reconhecidos por seu efeito larvícida em lepidópteros (Krinski *et al.*, 2018). Celis *et al.* (2014) verificaram que os óleos essenciais de quatro espécies de piperáceas (*Piper el-bancoanum*, *Piper arboreum*, *Piper peltatum*, e *Piper subtomentosum*) foram eficientes no controle dessa espécie, sendo *P. arboreum* o mais efetivo. Pinheiro *et al.* (2022), identificaram forte efeito ovicida de OE's de *P. fuligineum* sobre essa espécie, especialmente em concentrações superiores a 1%, o que indica potencial para controlar tanto lagartas quanto ovos. Entretanto, o comportamento de *S. frugiperda* em proteger os ovos com escamas soltas dificulta a ação dos inseticidas (Barros *et al.*, 2010; Rosa; Barcelos, 2012).

Surfactantes como Tween® 80 resumem a tensão superficial e melhoram o espalhamento do óleo sobre a cutícula, aumentando o contato dos monoterpenos e sesquiterpenos com as camadas cerosas do inseto (Cruz *et al.*, 2022). Nanoemulsões com diâmetros inferiores a 100 nm ampliam a área de superfície e facilitam a difusão dos constituintes lipofílicos através dos poros cuticulares. Formulações de *P. aduncum* em partículas de ~97 nm proporcionaram 82,3% de mortalidade em *S. frugiperda* a 0,56% de concentração (Abd-Elnabi *et al.*, 2025). Sistemas nanoemulsificados apresentam maior estabilidade térmica e resistência à degradação ambiental, além de potencializar efeitos sinérgicos entre terpenos (Abd-Elnabi *et al.*, 2025).

Outros piperáceas também apresentam potencial de controle de lagartas, como *Piper aduncum*, que apresentou potencial para controle da lagarta da soja (*Chrysodeixis includens* Walker), embora essa apresente concentrações letais altas para aplicação tópica (Sanini *et al.*, 2017). Nosso trabalho, porém, apresentou para todas as espécies CL₅₀ inferiores a 1% para todas as espécies. Já as CL₉₀ foram baixas para *S. frugiperda*, porém não para *S. cosmioides* e *S. eridania*, indicando melhor potencial para o controle dessa espécie.

A aplicação dos inseticidas de forma tópica pode levar a formação de placas necróticas nos locais onde foram aplicados diretamente sobre a epiderme do inseto (Côrrea; Salgado, 2011). Essa formação se deve ao fato de que os componentes da classe dos terpenos possuem ação lipofílica, atuando diretamente sobre as membranas e permitindo a inserção dos produtos dentro dos sistemas dos insetos de maneira mais ágil do que outros compostos utilizados para o controle desses insetos. Dentro dos sistemas, eles são carreados pela

hemolinfa e podem gerar uma série de danos, principalmente histológicos e neurotóxicos (Dutra *et al.*, 2020).

Essas placas necróticas interferiram no crescimento das lagartas, pois esses danos visualizados nas lagartas estão diretamente associados aos problemas de troca de ecdise, que levaram muitas lagartas de *S. frugiperda* e *S. cosmioides* à morte durante seu processo de muda, fator que limita o processo de reprodução dessas espécies. Esses problemas levam a questões de deformações de pupas que promovem deficiências gerais nos insetos, inclusive mal formações em adultos (o que não foi investigado nesse trabalho), esse efeito foi detectado por Araújo (2009) em *S. cosmioides*.

A letalidade comprovada dos óleos essenciais deve ter sua análise complementada pela compreensão de seus efeitos subletais às populações das pragas, tendo em vista que mesmo que não promovam letalidade direta, muitos OE's podem levar a redução da vitalidade das larvas, redução de peso de pupas o que indiretamente induz uma queda do potencial de dano da praga (Dutra, 2018). Essa abordagem, que integra tanto a ação letal quanto a interferência no ciclo de vida das pragas, é fundamental para o manejo integrado, já que os efeitos observados comprometem fatores essenciais para a dinâmica populacional (Storch *et al.*, 2014).

Com base em dados biológicos das espécies criadas em condições similares as desse trabalho (

Tabela 2), foi possível identificar alterações promovidas pelos tratamentos nos parâmetros biológicos dessas espécies. Em *S. frugiperda*, a aplicação dos óleos essenciais reduziu significativamente o peso das pupas, sugerindo uma interferência na transferência de nutrientes durante a metamorfose, o que corrobora os achados de Dutra (2018) sobre a influência dos compostos naturais no metabolismo dos insetos. Para *S. cosmioides*, os efeitos subletais ficaram evidentes na modulação do ciclo de desenvolvimento. Comparando com os dados basais, os tratamentos prolongaram o período larval e reduziram a biomassa das pupas.

No caso de *S. eridania*, embora os parâmetros basais indiquem um ciclo mais curto (Oliveira *et al.*, 2013), os tratamentos com OE's também ocasionaram mudanças no desenvolvimento, confirmando que mesmo espécies com ciclos rápidos podem ser sensíveis às interferências subletais. Tais alterações podem refletir, tanto uma resposta adaptativa, quanto um comprometimento na capacidade fisiológica dos indivíduos, interferindo diretamente no potencial reprodutivo da espécie e demonstrando que os efeitos dos óleos essenciais vão além da letalidade imediata, estendendo-se à modulação do desenvolvimento e impactando negativamente a qualidade dos sobreviventes (Cruz, 2012). Além disso, estudos indicam que, dependendo da formulação empregada, pode haver efeito residual capaz de proteger a cultura contra novas infestações, uma vez que frações lipofílicas se adsorvem à superfície foliar e liberam lentamente compostos bioativos. Na ausência de tais formulações, entretanto, os óleos tendem a exercer apenas efeitos secundários sem manutenção prolongada de atividade inseticida, o que reforça a necessidade de reavaliação da periodicidade de aplicação e das concentrações utilizadas em campo (Abd-Elnabi *et al.*, 2025; Dutra, 2018).

Os óleos de *Piper hispidinervum*, assim como de cravo, *Syzygium aromaticum* Merr & Perry, 1939 (Myrtales: Myrtaceae), além de promoverem danos diretos de mortalidade a ovos e larvas, ainda atuam diretamente na reprodução *S. frugiperda*, levando às fêmeas a colocarem menos ovos e os machos a terem uma queda na produção de espermatozoides, ressaltando ainda mais esses efeitos dos OE's em mais do que apenas uma via de mortalidade (Cruz, 2012).

Os constituintes majoritários dos óleos essenciais de *Piper* spp., como sesquiterpenos, já podem ser obtidos não apenas por extração vegetal, mas também por síntese química em laboratório, por exemplo, via reações de Robinson que permitem montar esqueletos sesquiterpênicos a partir de precursores simples (Alarcón *et al.*, 2013). No

entanto, a síntese em grande escala ainda esbarra em custos elevados e complexidade de purificação, o que torna a extração de material vegetal local uma alternativa mais viável economicamente. Em relação à contaminação ambiental, ao contrário dos agrotóxicos convencionais, os óleos essenciais apresentam alta volatilidade e rápida biodegradação, reduzindo riscos de persistência em solo e água; mesmo assim, aplicações em concentrações elevadas ou frequentes podem afetar organismos não-alvo e qualidade de corpos hídricos, exigindo estudos de impacto ambiental específicos (Lopes *et al.*, 2018).

Os resultados identificados nesse trabalho indicam que os OE's apresentam efeito letal e subletal sobre os lepidópteros-praga testados. Embora apresentem esse potencial de controle da praga, ainda existem espaços de pesquisa que necessitam ser explorados, visando otimizar o uso desses produtos em campo (Scapinello *et al.*, 2023). A principal vantagem desse método é que seus efeitos se manifestam de maneira rápida; entretanto, em concentrações não letais, as lagartas podem se recuperar e continuar causando danos, fator que não foi analisado nessa pesquisa (Scapinello *et al.*, 2023). Logo, esses se destacam como produtos potenciais para o controle dessas pragas, permitindo o uso dentro de sistemas agrícolas de grande escala e contribuindo para o manejo integrado de pragas mais sustentável (Carvalho, 2023; Sombra *et al.*, 2020).

2.5 Considerações Finais

Os resultados deste estudo indicam que os óleos essenciais de *P. fuligineum* e *P. arboreum* apresentam efeitos letais e subletais sobre as larvas de *S. frugiperda* e *S. cosmioides*. No entanto, os dados referentes a *S. eridania* sugerem que o óleo de *P. arboreum* não proporciona efeitos letais significativos para essa espécie, enquanto o de *P. fuligineum* demonstra tanto efeitos letais quanto subletais.

O presente trabalho também aponta que, futuramente, é possível investir em pesquisas voltadas à compreensão não apenas dos efeitos dos óleos essenciais, mas também de seus componentes individuais. O objetivo seria prospectar moléculas bioativas com potencial de patente e utilização, seja de forma unitária ou em formulações, para o controle de lepidópteros-praga em sistemas agrícolas.

Os resultados apresentados neste capítulo, referentes ao efeito de contato, contribuem para uma melhor compreensão da eficiência desses óleos essenciais no controle de lepidópteros-praga por meio desse método. Além disso, abrem espaço para novas pesquisas

que visem compreender de maneira mais aprofundada a ação e aplicabilidade dos óleos essenciais no manejo integrado de pragas, fortalecendo seu uso no controle sustentável dessas espécies.

2.6 Referências Bibliográficas

ABD-ELNABI, A. D. *et al.* Plant Oil Nano-Emulsions as a Potential Solution for Pest Control in Sustainable Agriculture. **Pest Control**, v. 54, n. 35, p. 1-10, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13744-024-01243-5>. Acesso: 10 jul., 2025.

ADAMS, R. P. **Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/mass spectrometry**. New York: Texensis Publishing, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/283650275_Identification_of_Essential_Oil_Components_by_Gas_ChromatographyQuadrupole_Mass_Spectroscopy. Acesso: 10 nov., 2024.

ALARCON, J. *et al.* Insecticidal activity of sesquiterpenes skeleton synthesized by the conventional Robinson annulations reaction on *Drosophila melanogaster*. **Industrial Crops and Products**, v. 42, n. 1, p. 268-272, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.05.026>. Acesso: 12 maio, 2025.

ARAÚJO, C. R. Aspectos Biológicos de *Spodoptera cosmioides* Walker, 1858 (Lepidoptera: Noctuidae) nas cultivares de algodoeiro Deltaopal e Nuopal (Bollgard I). 2009. 55 f. Dissertação (Mestre em Agronomia (Entomologia Agrícola)) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009. Disponível em: <https://www.fcav.unesp.br/Home/download/pgtrabs/ea/m/3586.pdf>. Acesso: 5 fev., 2025.

ÁVILA, C. J.; SANTOS, V. **Manejo Integrado de Pragas (MIP) na Cultura da Soja: Um estudo de caso com benefícios econômicos e ambientais**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2018. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1098927/1/DOC14320182.pdf>. Acesso: 5 jan., 2025.

AWOUAFACK, M. D. *et al.* Sesquiterpenes from the Medicinal Plants of Africa. In: AWOUAFACK, M. D. *et al.* (Eds.). **Medicinal Plant Research in Africa**. Amsterdam: Elsevier, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405927-6.00002-3>. Acesso: 10 maio, 2025.

BARROS, E. M. *et al.* Oviposition, development, and reproduction of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) fed on different hosts of economic importance. **Neotropical Entomology**, v. 39, n. 6, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2010000600023>. Acesso: 25 nov., 2024.

BAVARESCO, A. B. *et al.* Biologia e Exigências Térmicas de *Spodoptera cosmioides* (Walk.) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 1, p. 49-54, 2002.

Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2002000100007>. Acesso: 18 nov., 2024.

BRITO, R. *et al.* *Spodoptera cosmioides* (Lepidoptera: Noctuid) in Brazil: spatial distribution and relationship in the *S. latifascia* species group. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 68, n. 1, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9665-RBENT-2023-0106>. Acesso: 25 nov., 2024.

BUSATO, G. R. *et al.* Exigências térmicas e estimativa do número de gerações dos biótipos "milho" e "arroz" de *Spodoptera frugiperda*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 4, p. 329-335, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000400003>. Acesso: 18 nov., 2024.

BUSATO, G. R. *et al.* Susceptibilidade de lagartas dos biótipos milho e arroz de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) a inseticidas com diferentes modos de ação. **Ciência Rural**, v. 36, n. 1, p. 15-20, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000100003>. Acesso: 18 dez., 2024.

CARVALHO, R. A. *et al.* Investigating the Molecular Mechanisms of Organophosphate and Pyrethroid Resistance in the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda*. **PLoS One**, v. 8, n. 4, p. 1-10, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062268>. Acesso: 13 maio, 2025.

CARVALHO, Z. S. Phytochemical potential of essential oils: exploration and applications. **Boletim Científico Agrônomo do CCAAB/UFRB**, v. 1, n. 2254, p. 1-9, 2023. Disponível em: https://ufrb.edu.br/ccaab/images/boletimcientificoagronomico/Volume_1/ARTIGOS/Potencial_fitoqu%C3%ADmico_dos_%C3%B3leos_essenciais_explora%C3%A7%C3%A3o_e_aplica%C3%A7%C3%B5es.pdf. Acesso: 20 nov., 2024.

CELIS, A. *et al.* Effect of Piper Extracts in Fall Armyworm (*Spodoptera frugiperda* Smith), under Semi-Controlled Conditions. **Acta Horticulturae**, n. 1030, p. 49-54, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1030.5>. Acesso em: 15 jan., 2025.

CHEN, H. L. *et al.* Resistance monitoring and mechanism in the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) for chlorantraniliprole from Sichuan Province, China. **Frontiers in Physiology**, v. 14, n. 1, p. 1-10, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1180655>. Acesso: 13 maio, 2025.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília: CONAB, 2013. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso: 21 jan., 2025.

CÔRREA, J. C. R.; SALGADO, H. R. N. Atividade inseticida das plantas e aplicações: revisão. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 13, n. 4, p. 500-506, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-05722011000400016>. Acesso: 03 fev., 2025.

COSTA, J. I. V. **Estudo fitoquímico das folhas e caules de *Piper arboreum* Aublet (Piperaceae)**. 2015. 164 f. Tese (Doutorado em Produtos Naturais e Sintéticos Bioativos) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/8854/2/arquivo%20total.pdf>. Acesso: 02 fev., 2025.

CRUZ, A. S. L. *et al.* Nanoemulsified Formulation of *Cedrela odorata* Essential Oil and Its Larvicidal Effect against *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). **Molecules**, v. 27, n. 9, p. 1-7, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules27092975>. Acesso: 10 jul., 2025.

CRUZ, G. S. **Efeitos subletais de óleos essenciais associados com *Bacillus thuringiensis* var. aizawai sobre *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)**. 2012. 81 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Entomologia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012. Disponível em: <http://www.tede2.ufpe.br:8080/tede2/handle/tede2/5976>. Acesso: 03 fev., 2025.

DOOL, H. V. D.; KRATZ, P. D. J. A. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 11, n. 1m p. 463-471, 1963. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(01\)80947-X](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(01)80947-X). Acesso: 16 jul., 2025.

DUROFIL, A. *et al.* *Piper aduncum* essential oil: a promising insecticide, acaricide and antiparasitic. A review. **Parasite**, v. 28, n. 41, p. 10-25, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/parasite/2021040>. Acesso: 5 fev., 2025.

DUTRA, K. A. Avaliação dos óleos essenciais de Piperaceae sobre a Toxicidade e Parâmetros Fisiológicos em *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) e Efeito Sinergista dos seus componentes majoritários. 2018. 127 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Entomologia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012. Disponível em: <http://www.tede2.ufpe.br:8080/tede2/handle/tede2/7735>. Acesso: 03 fev., 2025.

DUTRA, K. A. *et al.* Toxicity of Essential Oils of Leaves of Plants from the Genus *Piper* with Influence on the Nutritional Parameters of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Essential Oil-Bearing Plants**, v. 23, n. 2, p. 213-229, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0972060X.2020.1756423>. Acesso: 20 jan., 2025.

FERRARINI, A. S. F. A expansão das áreas de soja e pastagens nas microrregiões de Mato Grosso. **Revista de Política Agrícola**, v. 1, n. 4, 2021. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1677>. Acesso: 20 jan., 2025.

GARRIDO-MIRANDA, K. A. *et al.* Essential Oils and Their Formulations for the Control of Curculionidae Pests. **Frontiers Agronomy**, v. 14, n. 1, p. 1-8, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fagro.2022.876687>. Acesso: 18 dez., 2024.

GRASSMANN, J.; ELSTNER, E. F. Essential Oils: Properties and Uses. **Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition**, v. 2, n. 1, p. 2177-2184, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00425-9>. Acesso: 11 maio, 2025.

GREENE, G. L. *et al.* Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. **Journal of Economic Entomology**, v. 69, n. 4, p. 487-488, 1976. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1093/jee/69.4.487>. Acesso: 15 jul., 2024.

KRINSKI, D. *et al.* Ovicidal effect of the essential oils from 18 Brazilian Piper species: controlling *Anticarsia gemmatilis* (Lepidoptera, Erebidae) at the initial stage of development. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 40, e35273, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.35273>. Acesso em: 21 fev., 2025.

KRINSKI, D.; FOERSTER, L. A.; DESCHAMPS, C. Ovicidal effect of the essential oils from 18 Brazilian Piper species: controlling *Anticarsia gemmatilis* (Lepidoptera, Erebidae) at the initial stage of development. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 40, n. 1, p. 1-10, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.35273>. Acesso em: 5 nov., 2024.

LOPES, C. V. A. *et al.* Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Saúde em Debate**, v. 42, n. 117, p. 518-534, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-1104201811714>. Acesso em: 10 dez., 2024.

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Ampligo®**. Agrofit: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários, 2024. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso: 10 out., 2024.a

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Spodoptera frugiperda**. Agrofit: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários, 2024. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso: 10 out., 2024.b

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Spodoptera cosmioides**. Agrofit: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários, 2024. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso: 10 out., 2024.c

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Spodoptera eridania**. Agrofit: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários, 2024. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso: 10 out., 2024.d

MARCHIORO, C. A. Efeito de dietas artificiais sobre o desenvolvimento e reprodução de *Pseudaletia sequax* Franclemont, 1951 (Lepidoptera: Noctuidae) e do parasitoide de ovos *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae). 2007. 246 f. Dissertação (Mestrado em Zoologia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/handle/1884/10637>. Acesso: 15 jul., 2024.

MAZZEU, B. F. **Estudo de aspectos químicos, biológicos e biossintéticos em *Piper fuliginum* Kunth (Piperaceae)**. 2014. 143 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/3cb0e349-e12b-4bbd-948f-86f6fe2f6728/content>. Acesso: 02 fev., 2025.

MAZZEU, B. F. *et al.* Kavalactones and benzoic acid derivatives from leaves of *Piper fuliginum* Kunth (Piperaceae). **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 29, n. 6, p. 1286-1290, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20170225>. Acesso em: 21 fev., 2025.

MIAN, F. M. *et al.* Efficacy of Insecticides against Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera, Noctuidae) in Maize. **Journal of Bioresource Management**, v. 9, n. 2, p. 1-9, 2022. Disponível em: <https://corescholar.libraries.wright.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1457&context=jbm>. Acesso: 13 maio, 2025.

MORDOR INTELLIGENCE. **Tamanho do mercado de soja e análise de participação – Tendências e previsões de crescimento (2024 – 2029)**. Mordor Intelligence, 2024. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/soybean-market>. Acesso: 20 jan., 2025.

NCBI. NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. **PubChem Database**. PubChem Database, 2024. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>. Acesso em: 1 jan., 2025.

OLIVEIRA, *et al.* Aspectos Biológicos de *Spodoptera eridania* (Lepidoptera: Noctuidae) Desenvolvida em Milho Bt e Não Bt. *In: Jornada Acadêmica da Embrapa Soja*, 13. **Anais [...]**. Londrina: Embrapa Soja, 2013. Disponível em: https://cgpe.sct.embrapa.br/publica_detalhes.asp?CodCGP=10673. Acesso: 5 fev., 2025.

OLIVEIRA, K. B. *et al.* Aspectos Biológicos de *Spodoptera eridania* (Lepidoptera: Noctuidae) Desenvolvida em Milho Bt e Não Bt. *In: Jornada Acadêmica da Embrapa Soja*, 8. **Anais [...]**. Londrina: Embrapa Soja, 2013. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/964391/1/AspectosbiologicosdeSpodopteraeridaniaLepidopteraNoctuidaedesenvolvidaemmilhoBtenaoBt.pdf>. Acesso: 5 jan., 2025.

PAREDES-SANCHÉZ, F. A. *et al.* Advances in Control Strategies against *Spodoptera frugiperda*. A Review. **Molecules**, v. 26, n. 18, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules26185587>. Acesso: 13 maio, 2025.

PARRA, J. R. P.; DE CARVALHO, S. M. Biologia e nutrição quantitativa de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) em meios artificiais compostos de diferentes variedades de feijão. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 13, n. 2, p. 305-319, 1984. Disponível em: <https://www.anais.seb.org.br/index.php/aseb/article/download/354/353/>. Acesso: 5 jan., 2025.

PEREIRA FILHO, A. A. Larvicidal Activity of Essential Oils from Piper Species Against Strains of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) Resistant to Pyrethroids. **Frontiers Plant Science**, v. 12, n. 1, p. 1-10, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.685864>. Acesso: 5 fev., 2025.

PICANÇO, M. C. *et al.* **Tópicos de Manejo Integrado de Pragas II**. Viçosa: Departamento de Entomologia, 2023. Disponível em: <https://www.protecaodeplantas.ufv.br/wp-content/uploads/2023/04/manejo02.pdf>. Acesso em: 20 dez., 2025.

PINHEIRO, K. D. *et al.* Efeito ovicida de óleo essencial de folhas e frutos de Piper fuliginum (Piperaceae) sobre ovos de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera). **Journal of Education Science and Health**, v. 2, p. 1-10, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.52832/jesh.v2i3.147>. Acesso: 1 jan., 2025.

POTZERHEIM, M. C. L. *et al.* Análise dos óleos essenciais de três espécies de Piper coletadas na região do Distrito Federal (Cerrado) e comparação com óleos de plantas procedentes da região de Paraty, RJ (Mata Atlântica). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 16, n. 2, p. 246-251, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2006000200019>. Acesso em: 21 fev., 2025.

POTZERNHEIM, M. C. L. *et al.* Análise dos óleos essenciais de três espécies de Piper coletadas na região do Distrito Federal (Cerrado) e comparação com óleos de plantas procedentes da região de Paraty, RJ (Mata Atlântica). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 16, n. 2, p. 246–251, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2006000200019>. Acesso: 10 jan., 2025.

QIANJIN, D. *et al.* A simple method for identifying sexuality of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) pupae and adults. **Plant Protection**, v. 11, n. 1982, p. 1-7, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.16688/j.zwbh.2019367>. Acesso: 16 jan., 2025.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 15 set., 2024.

REZENDE, K. F. **Bioprospecção de óleos essenciais no controle de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797)**. 2024. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Tangará da Serra, 2024. Disponível em: <https://portal.unemat.br/index.php?pg=site&i=ppgasp&m=dissertacoes-defendidas>. Acesso: 10 out., 2024.

RODRIGUES, M. Chemical composition and biological activities of essential oils of Piper species from the Amazon. **Journal of Essential Oil Research**, v. 33, n. 5, p. 1-13, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/10412905.2021.1942250>. Acesso: 17 maio, 2025.

ROSA, A. P. A. Biologia e tabela de vida de fertilidade de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) em linhagens de milho. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 79, n. 1, p. 39-45, 2012. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/aib/a/Y7RtND8HVXWK9fBqf3R936w/#:~:text=O%20objetivo%20deste%20trabalho%20foi%20estudar%20os%20aspectos,de%20Melhoramento%20de%20Milho%20da%20Embrapa%20Clima%20Temperado>. Acesso: 5 fev., 2025.

ROSA, A. P. S. A.; BARCELOS, H. T. **Bioecologia e controle de *Spodoptera frugiperda* em milho**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/935552/1/Documento344.pdf>. Acesso: 18 nov., 2024.

RUSSELL, V. L. *et al.* **emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means**. R package, 2024. Disponível em: <https://rvlenth.github.io/emmeans/>. Acesso em: 15 set., 2024.

SANINI, C. *et al.* Essential oil of spiked pepper, *Piper aduncum* L. (Piperaceae), for the control of caterpillar soybean looper, *Chrysodeixis includens* Walker (Lepidoptera: Noctuidae). **Brazilian Journal of Botany**, v. 40, n. 2, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s40415-017-0363-6>. Acesso: 10 fev., 2025.

SANTOS, K. B. *et al.* Biologia de *Spodoptera eridania* (Cramer) (Lepidoptera: Noctuidae) em Diferentes Hospedeiros. **Neotropical Entomology**, v. 34, n. 6, p. 903-910, 2005. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1098927/1/DOC14320182.pdf> <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2005000600005>. Acesso: 5 jan., 2025.

SARTOR, R. B. **Modelagem, simulação e otimização de uma unidade industrial de extração de óleos essenciais por arraste a vapor**. 2009. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/21924/000737903.pdf?sequence=1>. Acesso: 12 dez., 2024.

SCALERANDI, E. *et al.* Understanding Synergistic Toxicity of Terpenes as Insecticides: Contribution of Metabolic Detoxification in *Musca domestica*. **Frontiers in Plant Science**, v. 29, n. 1, p. 1-9, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01579>. Acesso: 12 maio, 2025.

SCAPINELLO, J. *et al.* Aplicação de óleos essenciais em alimentos: uma revisão sobre desafios e perspectivas. **Revista Acta Ambiental Catarinense**, v. 21, n. 1, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v21i1.7740>. Acesso: 20 nov., 2024.

SILVA, A. *et al.* Development and reproduction of *Spodoptera eridania* on natural hosts and artificial diet. **Brazilian Journal of Biology**, v. 79, n. 1, p.80-86, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.177219>. Acesso: 18 nov., 2024.

SILVA, J. A. *et al.* Atividade antioxidante de *Piper arboreum*, *Piper dilatatum* e *Piper divaricatum*. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 16, n. 3, supl. I, p. 700-706, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1983-084x/13_097. Acesso em: 21 fev., 2025.

SOBERÓN-RISCO, G. V. *et al.* Larvicidal activity of *Piper tuberculatum* on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) under laboratory conditions. **Revista colombiana de Entomologia**, v. 38, n. 1, p. 35-41, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/283462215_Larvicidal_activity_of_Piper_tuberculatum_on_Spodoptera_frugiperda_Lepidoptera_Noctuidae_under_laboratory_conditions_Revista_Colombiana_de_Entomologia. Acesso: 17 maio, 2025.

SOMBRA, A. E. S. *et al.* Potential pesticide of three essential oils against *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 80, n. 4, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392020000400617>. Acesso: 10 jan., 2025.

SOMBRA, K. E. S. *et al.* Potential pesticide of three essential oils against *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 80, n. 4, p. 617-628, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392020000400617>. Acesso: 20 dez., 2024.

STORCH, G. *et al.* Efeitos Subletais de Inseticidas sobre *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), utilizados na Cultura do Milho. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 13, n. 1, p. 71-79, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v13n1p71-79>. Acesso: 10 fev., 2025.

SU, X. S. *et al.* Chlorpyrifos and chlorfenapyr resistance in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) relies on UDP-glucuronosyltransferases. **Journal of Economic Entomology**, v. 116, n. 4, p. 1329–1341, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jee/toad088>. Acesso: 13 maio, 2025.

TEODORO, A. V. *et al.* *Spodoptera cosmioides* (Walker) e *Spodoptera eridania* (Cramer) (Lepidoptera: Noctuidae): Novas Pragas de Cultivos da Região Nordeste. Aracaju: Embrapa, 2013. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/977975/1/cot131.pdf>. Acesso: 18 nov., 2024.

THERNEAU, T. M. *et al.* **survival: Survival Analysis**. R Package, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.survival>. Acesso em: 15 set., 2024.

WICKHAN, H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. New York: Springer-Verlag, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1111/j.1467-985X.2010.00676_9.x. Acesso em: 15 set., 2024.

3 CAPÍTULO 2: EFEITO DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE *Piper arboreum* E *Piper fuligineum* PELA VIA DE AÇÃO POR INGESTÃO PARA O CONTROLE DE LEPIDÓPTEROS-PRAGA DO COMPLEXO *Spodoptera*

Resumo: O controle de lepidópteros-praga na cultura da soja, como *S. frugiperda*, *S. cosmioides* e *S. eridania*, representa um grande desafio para a agricultura brasileira, devido ao elevado potencial de danos causado por essas espécies. Este estudo avaliou a eficácia dos óleos essenciais de *P. arboreum* e *P. fuligineum*, aplicados via ingestão, no controle dessas pragas. A pesquisa concentrou-se na determinação da letalidade e nos efeitos subletais dos óleos sobre o comportamento alimentar, o desenvolvimento larval e a sobrevivência das lagartas. A análise cromatográfica revelou que os óleos essenciais de ambas as espécies apresentaram alta prevalência de sesquiterpenos, como biciclogermacreno e (E)-cariofileno em *P. arboreum*, e neo-intermedeol e α -selineno em *P. fuligineum*. O óleo essencial de *P. arboreum* proporcionou alta eficiência contra *S. eridania* (90% de mortalidade a 0,25%), sendo eficaz, porém menos potente, contra *S. frugiperda* e *S. cosmioides* (53,33% e 63,33%, respectivamente). Por sua vez, o óleo essencial de *P. fuligineum* apresentou resposta mais moderada nas mesmas condições, promovendo mortalidade de 86,67% para *S. frugiperda*, 73,33% para *S. cosmioides* e 53,33% para *S. eridania*. Os efeitos subletais incluíram redução do consumo alimentar e alterações no desenvolvimento das lagartas, especialmente nas concentrações mais elevadas dos óleos. Ademais, a análise das concentrações letais (CL50 e CL90) indicou que *S. eridania* foi a espécie mais sensível, enquanto *S. frugiperda* apresentou maior resistência. Esses resultados sugerem que os óleos essenciais de *Piper* possuem grande potencial como alternativas sustentáveis no manejo de pragas da soja, possibilitando a redução do uso de inseticidas sintéticos.

Palavras-chave: Manejo Integrado de Praga. Efeito antialimentar. Deterrença alimentar.

Abstract: The control of lepidopteran pests in soybean cultivation, such as *S. frugiperda*, *S. cosmioides*, and *S. eridania*, represents a major challenge for Brazilian agriculture due to the high potential for damage caused by these species. This study evaluated the efficacy of the essential oils of *P. arboreum* and *P. fuligineum*, applied via ingestion, in controlling these pests. The research focused on determining the lethality and sublethal effects of the oils on feeding behavior, larval development, and caterpillar survival. Chromatographic analysis revealed that the essential oils of both species showed a high prevalence of sesquiterpenes, such as biciclogermacrene and (E)-caryophyllene in *P. arboreum*, and neo-intermedeol and α -selinene in *P. fuligineum*. The essential oil of *P. arboreum* provided high efficacy against *S. eridania* (90% mortality at 0.25%), being effective but less potent against *S. frugiperda* and *S. cosmioides* (53.33% and 63.33%, respectively). Meanwhile, the essential oil of *P. fuligineum* showed a more moderate response under the same conditions, promoting mortality of 86.67% for *S. frugiperda*, 73.33% for *S. cosmioides*, and 53.33% for *S. eridania*. The sublethal effects included reduced food consumption and changes in caterpillar development, especially at higher oil concentrations. Furthermore, the analysis of lethal concentrations (LC50 and LC90) indicated that *S. eridania* was the most sensitive species, while *S. frugiperda* showed greater resistance. These results suggest that *Piper* essential oils have great potential as sustainable alternatives in soybean pest management, enabling a reduction in the use of synthetic insecticides.

Keywords: Integrated Pest Management; Antifeedant Effect; Feeding Deterrence.

3.1 Introdução

Os lepidópteros representam uma das pragas mais significativas para os cultivos de soja em todo o Brasil, ocasionando perdas expressivas na produtividade e na qualidade dos grãos (Ávila; Santos, 2018). Entre essas pragas, os organismos da família Noctuidae, como *S. frugiperda*, *S. cosmioides* e *S. eridania*, são amplamente distribuídos e proporcionam um elevado potencial de dano, devido à sua alta capacidade de adaptação e resistência a diferentes métodos de controle. O manejo dessas pragas tem sido, tradicionalmente, baseado na utilização de plantas geneticamente modificadas expressando toxinas inseticidas e no controle químico pontual e calendarizado (Loureiro et al., 2020). No entanto, o uso recorrente de inseticidas sintéticos tem levado à seleção de populações resistentes, além de gerarem preocupações ambientais e toxicológicas, demandando a busca por alternativas mais sustentáveis e eficazes (Aioub et al., 2024).

Nesse contexto, substâncias de origem vegetal têm se destacado como potenciais agentes para o controle de pragas, principalmente devido à presença de metabólitos secundários com atividade inseticida (Chaves et al., 2010; Spletozer et al., 2021). Os OE's provenientes de plantas da família Piperaceae, como *Piper arboreum* e *Piper fuliginum*, têm demonstrado eficácia no controle de lepidópteros, especialmente por meio do contato direto (Krinski et al., 2018; Pinheiro et al., 2022). No entanto, o potencial inseticida dessas substâncias, quando ingeridas pelas lagartas, ainda necessita maior investigação, visto que compostos bioativos podem afetar o comportamento alimentar, a taxa de crescimento e a sobrevivência dos insetos (Côrrea; Salgado, 2011).

Estudos preliminares sugerem que os OE's de *Piper* sp. possuem características promissoras como inseticidas de ingestão, uma vez que demonstram estabilidade sobre as superfícies tratadas e podem manter sua toxicidade por períodos prolongados após a aplicação (Souto et al., 2011). Celis et al. (2014) evidenciaram efeitos tóxicos da ingestão de compostos derivados de *P. arboreum* em *S. frugiperda*, enquanto Lima et al. (2009) verificaram efeitos letais do óleo essencial de *P. hispidinervum* quando administrado por via oral. Esses achados reforçam a necessidade de aprofundamento das investigações sobre a efetividade da ação dos óleos essenciais na sobrevivência das lagartas e de redução do seu potencial de causar danos nas culturas.

Diante disso, o presente capítulo tem como objetivo avaliar os efeitos da ingestão dos óleos essenciais de *P. arboreum* e *P. fuliginum* sobre *S. frugiperda*, *S. cosmioides* e *S.*

eridania. A pesquisa busca, não apenas determinar a letalidade dos compostos administrados via ingestão, mas também analisar possíveis efeitos subletais, como redução no consumo alimentar, atraso no desenvolvimento larval e alterações comportamentais. A compreensão desses efeitos poderá contribuir para a formulação de estratégias de manejo integrado de pragas, reduzindo a dependência de inseticidas sintéticos e promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Obtenção, criação e manutenção dos lepidópteros-praga

Os lepidópteros-praga utilizados para os ensaios de mortalidade foram obtidos todos de populações da cidade de Tangará da Serra, Mato Grosso, sendo as lagartas coletadas durante a safra 2023/2024 nas proximidades das coordenadas 14°33'27.8"S 57°31'26.5"W.

Após a coleta, os indivíduos foram conduzidos para o Laboratório de Entomologia, localizado no Centro de Pesquisas, Estudos e Desenvolvimento Agroambientais (CPEDA) da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), campus Tangará da Serra. No laboratório as espécies coletadas foram separadas e passaram por um processo de quarentena para a inserção na criação já estabelecida.

A criação se deu com temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, umidade relativa do ar em $75 \pm 5\%$ e fotofase de 12 horas, visando simular os intervalos ótimos de desenvolvimento dessas lagartas.

Após a eclosão dos ovos, as lagartas foram alimentadas utilizando uma dieta artificial adaptada de Greene *et al.* (1976), realizada por Marchioro (2007) (Tabela 6). As lagartas de segundo instar foram individualizadas em tubos de ensaio (8,5 cm de altura e 2,5cm de diâmetro) contendo aproximadamente 2mL de dieta, processo realizado dentro de câmara de fluxo laminar. Previamente a inserção das lagartas, a dieta passou por um processo de desinfecção com luz Ultravioleta (UV) por um intervalo de 1 hora. Esses tubos foram fechados com algodão esterilizado.

Tabela 6. Protocolo de dieta artificial utilizada para criação de lepidópteros-praga do gênero *Spodoptera*.

Ingredientes	Quantidade
Água destilada	1 L
Feijão Carioca	62,5 g
Germe de Trigo	50 g
Proteína de Soja	25 g
Caseína (fosfoproteína)	25 g
Levedo (fermento inativo)	31,25 g
Tetraciclina (Antibiótico)	125 mg
Formaldeído (40%)	3 mL
Ácido Ascórbico	3 g
Caragenina	13 g
Nipagim (Metil-p-hidroxibenzoato)	5 g
Mistura de Vanderzant (com vitamina B12)	1 cápsula
Ácido Sórbico	1,5 g

Fonte: Marchioro (2007), adaptado de Greene *et al.* (1976).

Após as lagartas empuparem, as pupas foram retiradas dos tubos e higienizadas durante 1 minuto em uma solução de sulfato de cobre (CuSO_4) a 1% e água esterilizada (H_2O). Após serem secas, as pupas foram sexadas com base na metodologia proposta por Qianjin *et al.* (2019) (Figura 9).

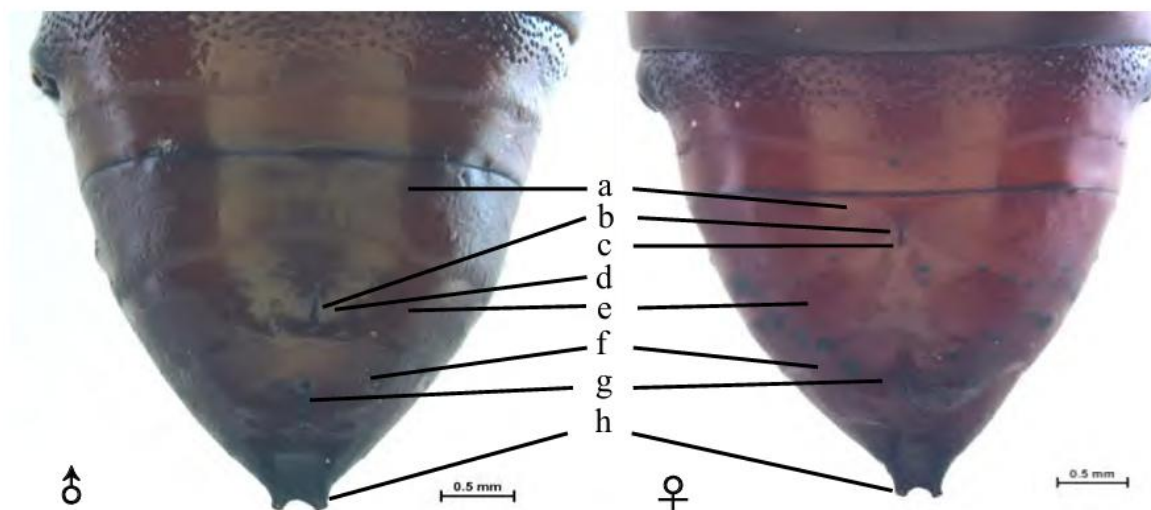


Figura 9. Diferenças morfológicas utilizadas para a sexagem de indivíduos de *Spodoptera* sp. As letras indicam: (a) 8º segmento abdominal; (b) gonóporo; (c) orifícios de oviposição; (d) estrumas semicirculares; (e) 9º segmento abdominal; (f) 10º segmento abdominal; (g) ânus; (h) espinho da anca. Esses caracteres permitem a distinção entre machos e fêmeas, conforme descrito por Qianjin *et al.* (2019). Fonte: adaptado de Qianjin *et al.* (2019).

Próximo ao período de emergência das mariposas, em cada uma das espécies, as pupas eram colocadas em gaiolas feitas de PVC (20cm diâmetro e 20cm de altura) fechadas no topo com voil, para permitir a ventilação, respeitando a proporção de 50% de machos e

fêmeas. Essas gaiolas foram revestidas internamente com papel sulfite para garantir que os ovos fossem depositados em uma superfície de fácil remoção. Após a emergência, as mariposas foram alimentadas com uma solução feita com mel a 10% e água embebida em um algodão. A cada dois dias foram realizadas manutenções das gaiolas, trocando os forros internos para remoção de ovos e fezes e a troca da dieta.

3.2.2 Obtenção do material vegetal

O material vegetal coletado foi obtido no município de Tangará da Serra em uma área de transição Amazônia-Cerrado (Figura 10). A identificação taxonômica das plantas de *P. arboreum* e *P. fuliginum* foi realizada pelas especialistas Dra. Micheline Carvalho Silva da Universidade de Brasília (UnB) e Dra. Celice Alexandre Silva da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT). As exsicatas das espécies foram armazenadas no Herbário TANG pertencente a Universidade do Estado de Mato Grosso no *campus* de Tangará da Serra.

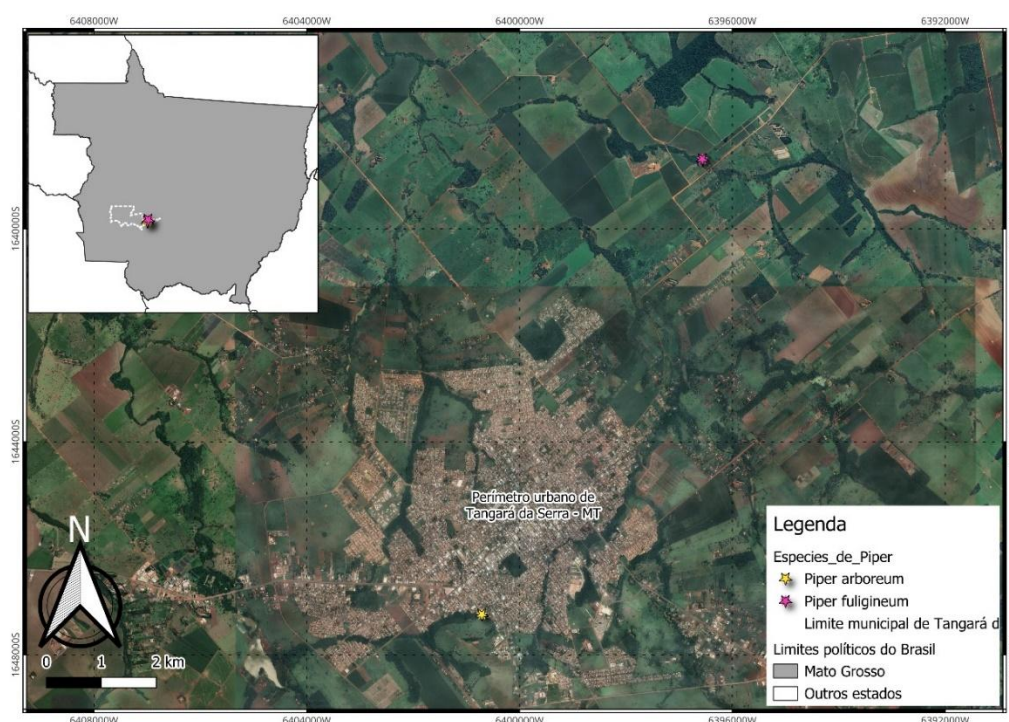


Figura 10. Mapa indicando a localização geográfica das plantas de *Piper* coletadas no município de Tangará da Serra, Estado de Mato Grosso, Brasil, para posterior extração dos óleos essenciais.

3.2.3 Extração dos óleos essenciais

Para realizar o procedimento de extração dos óleos essenciais (OE's) das espécies de *Piper*, foi utilizado o procedimento estabelecido no protocolo proposto por Pinheiro (2022). Para isso foram pesadas 100g de folhas secas selecionadas em triplicatas. Essas folhas foram trituradas em liquidificador e acondicionadas em um balão volumétrico de 2L contendo 1L de água destilada (Figura 11).



Figura 11. Imagens do aparelho de Clevenger utilizado no processo de hidrodestilação para extração dos óleos essenciais das espécies *Piper arboreum* e *Piper fuligineum*.

O método escolhido foi a hidrodestilação, realizada com um aparelho tipo Clevenger, onde balões volumétricos com o material vegetal permaneceram sobre mantas aquecedoras durante quatro horas (Sartor, 2009) (Figura 11). Subsequentemente, os OE's

obtidos foram acondicionados em microtubos de 1,5µL e guardados em congelador (-18°C) até o momento das análises químicas e posterior utilização nos bioensaios.

3.2.4 Análise Cromatográfica

A composição química dos OE's foi realizada e avaliada em triplicata, usando um cromatógrafo a gás Shimadzu 2030 acoplado a um detector de massa sequencial Shimadzu TQ8040 (CG-MS/MS). A separação dos constituintes foi realizada usando uma coluna capilar HP-5MS fundida (espessura do filme: 30m × 0,25mm × 0,25µm), revestida com uma fase estacionária de 5% fenil-95% dimetilpolissiloxano. O hélio foi usado como gás de arraste a uma taxa de fluxo de 1,0 mL min⁻¹. A temperatura do forno do GC foi programada para aumentar de 60 a 240 °C a uma taxa de 3°C min⁻¹ e mantida a 240 °C por 10 min e a do injetor foi mantida em 250 °C.

Para a quantificação, foram injetados OE's (solução de hexano a 1%) e o Shimadzu GC 2030, equipado com um detector de ionização de chama (FID), foi operado a 250 °C. O ar sintético foi usado como gás de arraste a uma vazão de 1,5mL min⁻¹, usando a mesma coluna e condições descritas acima.

A identificação dos constituintes químicos dos OE's foi realizada comparando os espectros de massa com os de bibliotecas comerciais (Dool; Kratz, 1963), bem como, pelas suas taxas de retenção linear (Adams, 2017), após a injeção de uma série homóloga de alcanos (C8–C26) nas mesmas condições experimentais.

A classificação dos componentes foi pesquisada dentro da PubChem Database (NCBI, 2024) buscando identificar a classificação dos componentes encontrados nos OE's das plantas coletadas.

3.2.5 Mensuração dos efeitos letais e subletais

Para a determinação do potencial larvicida, foi utilizado delineamento inteiramente casualizado (DIC), contendo oito tratamentos, sendo cinco concentrações de OE's 0,25; 0,50; 1; 2; e 4%, diluídos em Tween® e três controles. O controle positivo foi Ampligo® (Lambda-cialotrina e Clorantraniliprole) e os controles negativos selecionados foram o próprio diluidor dos óleos Tween® e água destilada.

Cada tratamento apresentou 30 repetições, cada uma representada por apenas uma lagarta de *Spodoptera sp.* de terceiro instar acondicionada em um pote plástico de 145mL, como proposto por Parra e Carvalho (1984). O bioensaio consistiu na pulverização na dieta da qual os insetos iriam se alimentar dentro dos potes (Figura 12), garantindo que pudessem ter contato com o tratamento como ocorreria no campo, com o produto sobre as folhas.

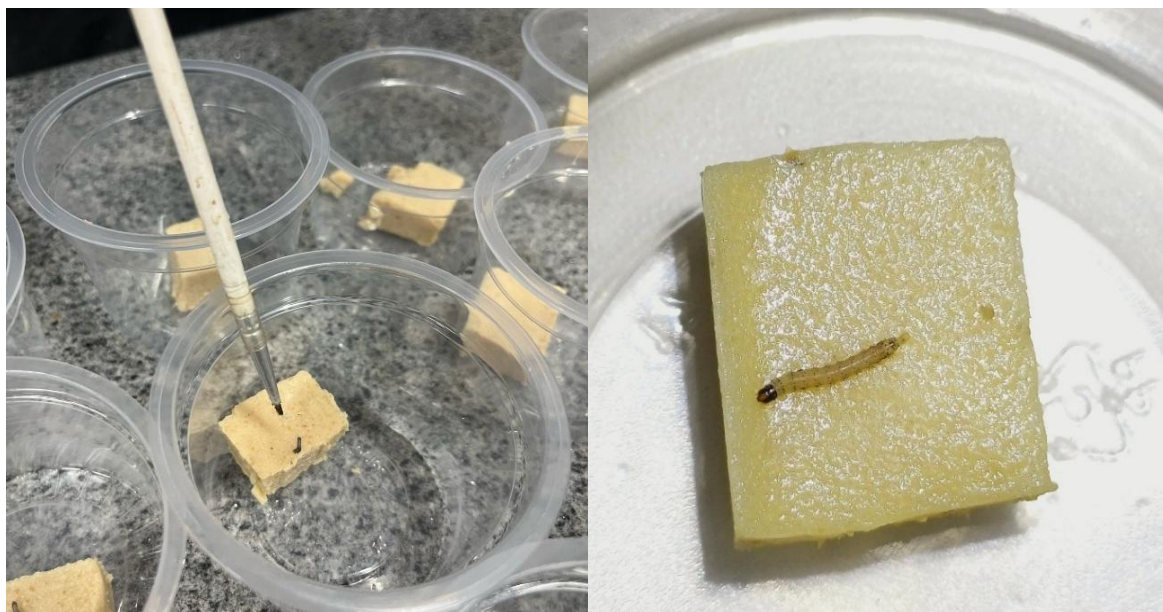


Figura 12. Lagarta de terceiro ínstar de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) durante o processo de inoculação em dieta artificial previamente suplementada com óleo essencial de *Piper spp.*, utilizada para avaliação da atividade inseticida. Fonte: O autor (2024).

As análises de mortalidade foram realizadas após 12, 24, 48, 96 e 120 horas. A verificação da mortalidade se deu com toque de pincel em caso de inação da lagarta, caso em sucessivos toques ela não apresentasse qualquer tipo de movimentação, era tida como morta, conforme o protocolo de Busato *et al.* (2006). A quantidade ingerida de dieta foi mensurada para se avaliar a deterência alimentar.

Adicionalmente foram avaliados o número de indivíduos que conseguiram empupar, o peso das pupas, a duração da fase larval, o número de dias até emergência dos adultos e o número de adultos emergidos. Os parâmetros foram comparados com dados publicados (Tabela 7).

Tabela 7. Parâmetros biológicos do desenvolvimento de espécies de lepidópteros-praga utilizados como modelo experimental nos testes com óleos essenciais de *Piper arboreum* e *Piper fuliginum*. Os dados apresentados foram obtidos da literatura científica especializada.

Espécie	Duração larva (dias)	Duração pupa (dias)	Peso de pupas (g)
<i>Spodoptera frugiperda</i>	16,5 ^{1,2}	10,6 ^{1,2}	0,10 ³
<i>Spodoptera cosmioides</i>	19,1 ^{4,5}	12,0 ^{4,5}	0,45 ⁷
<i>Spodoptera eridania</i>	14,1 ⁶	9,8 ⁶	0,29 ⁸

Fonte: 1=Busato *et al.* (2005); 2=Rosa & Barcelos (2012); 3=Lima *et al.* (2023); 4=Bavaresco *et al.* (2002); 5= Teodoro *et al.* (2013); 6=Silva *et al.* (2019); 7= Araújo (2009); 8= Oliveira *et al.* (2013).

3.2.6 Análise de dados

Para análise dos dados os tratamentos foram comparados utilizando de Modelos Lineares Generalizados (GLM's) com teste de Tukey a 5% como pós-hoc. Para verificar a mortalidade ao longo do tempo, foram construídas curvas de Kaplan-Meier e compararam-se os tratamentos pelo teste de log-rank usando o pacote Survival (Therneau *et al.*, 2009). Adicionalmente foram calculadas as Concentrações Letais que ocasionaram a morte de 30 (CL₃₀), 50 (CL₅₀) e 90% (CL₉₀), dos organismos, a partir do método de Probit.

Os efeitos subletais de tempo de larva, tempo de pupa, quantidade ingerida de alimento foram comparados com GLM's com distribuições adequadas, os modelos foram submetidos a análises de variância associada a um teste F para extrair a significância de cada fator. Havendo significância (fixada em 5%), os dados foram submetidos a um teste de Tukey pareado com a função emmeans (Russel *et al.*, 2024).

Todas as análises foram conduzidas dentro do software R versão 4.4.2 (R Core Team, 2024) e os gráficos construídos com o pacote ggplot2 (Wickham, 2016).

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Análise cromatográfica

A análise da cromatografia (disponível no Anexo A) das espécies *P. arboreum* e *P. fuliginum* revelou que as espécies possuem 37 e 30 componentes, respectivamente. Desses, 17 são compartilhados entre si, *P. arboreum* então apresenta 20 componentes exclusivos e *P. fuliginum* 13. Os componentes mais representativos de *P. arboreum* foram: biciclogermacreno (19,31%), (E)-cariofileno (10,62%), germacreno D (10,55%),

espatulenol (7,89%) e α -pineno (4,04%). Enquanto *P. fuligineum* teve como os mais representativos: neo-intermedeol (10,00%), α -selineno (8,02%), germacreno D (6,62%), (E)-cariofileno (6,48%) e β -selineno (6,18%). A análise cromatográfica mostrou que, em ambas as espécies, os sesquiterpenos hidrocarbonetos são o grupo mais abundante (Figura 13).

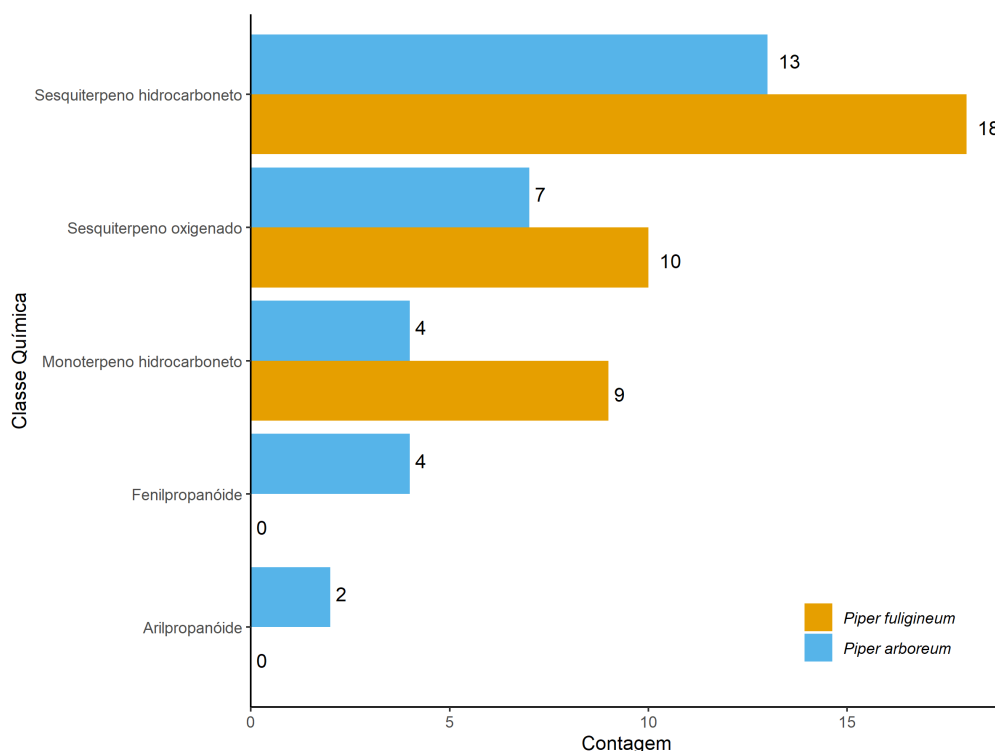


Figura 13. Distribuição quantitativa dos principais constituintes químicos identificados nos óleos essenciais de *Piper arboreum* e *Piper fuligineum*. Fonte: Rezende (2024).

3.3.2 Efeito larvícida dos óleos essenciais

Os OE's apresentaram uma taxa de mortalidade de lagartas elevada (Tabela 10). Em *S. frugiperda*, o tratamento foi significativo ($\chi^2=241,010$; $p<0,001$), assim como a espécie do óleo ($\chi^2=20,700$; $p<0,001$) (Tabela 10). Na concentração de 4 %, *P. fuligineum* proporcionou 90,00% de mortalidade, superior aos 70,00 % de *P. arboreum*; no controle Ampligo®, ambas atingiram 100,00% de mortalidade (Tabela 10). Em *S. cosmioides*, o tratamento teve efeito significativo ($\chi^2=230,213$; $p<0,001$), também houve diferença entre os óleos ($\chi^2=7,821$; $p=0,005$) (Tabela 10). Na concentração de 4%, *P. arboreum* proporcionou 83,33 % e *P. fuligineum* 100,00%, sem diferença estatística entre eles (Tabela 10). Em *S. eridania*, o tratamento teve efeito significativo ($\chi^2=263,101$; $p<0,001$), mas não a

espécie do óleo ($\chi^2=0,161$; $p=0,688$) (Tabela 10). A 4%, *P. fuligineum* provocou 93,33% de mortalidade, contra 90,00 % de *P. arboreum*, enquanto o controle Ampligo® provocou 100 % de letalidade, enquanto os controles negativos ficaram abaixo de 10 % (Tabela 10).

Tabela 8. Efeitos subletais de óleos de *Piper arboreum* e *Piper fuligineum* em diferentes espécies de lepidópteros-praga com método de ingestão.

Espécie	Tratamento	Efeito larvicida (porcentagem $\pm$ desvio padrão)	
		<i>P. arboreum</i>	<i>P. fuligineum</i>
<i>S. frugiperda</i>	0,25%	53,33 $\pm$ 1,69 Bb	86,67 $\pm$ 1,26 Aa
	0,50%	20,00 $\pm$ 1,36 Cb	53,33 $\pm$ 1,69 Ba
	1%	20,00 $\pm$ 1,36 Cb	66,67 $\pm$ 1,60 Ba
	2%	63,33 $\pm$ 1,63 Ba	70,00 $\pm$ 1,55 Ba
	4%	70,00 $\pm$ 1,55 Ba	90,00 $\pm$ 1,02 Aa
	Ampligo	100,00 $\pm$ 0,00 Aa	100,00 $\pm$ 0,00 Aa
	Tween	10,00 $\pm$ 1,02 Ca	6,67 $\pm$ 0,85 Ca
	Água	6,67 $\pm$ 0,85 Ca	0,00 $\pm$ 0,00 Ca
<i>S. cosmioides</i>	0,25%	63,33 $\pm$ 1,63 Ba	73,33 $\pm$ 1,50 Ba
	0,50%	60,00 $\pm$ 1,66 Ba	70,00 $\pm$ 1,55 Ba
	1%	60,00 $\pm$ 1,66 Ba	66,67 $\pm$ 1,60 Ba
	2%	70,00 $\pm$ 1,55 Ba	76,67 $\pm$ 1,43 Ba
	4%	83,33 $\pm$ 1,20 Ba	100,00 $\pm$ 0,00 Aa
	Ampligo	100,00 $\pm$ 0,00 Aa	100,00 $\pm$ 0,00 Aa
	Tween	3,33 $\pm$ 0,61 Ca	0,00 $\pm$ 0,00 Ca
	Água	6,67 $\pm$ 0,85 Ca	0,00 $\pm$ 0,00 Ca
<i>S. eridania</i>	0,25%	90,00 $\pm$ 1,02 Aa	53,33 $\pm$ 1,69 Ba
	0,50%	80,00 $\pm$ 1,20 Aa	63,33 $\pm$ 1,63 Ba
	1%	83,33 $\pm$ 1,26 Aa	93,33 $\pm$ 0,85 Aa
	2%	60,00 $\pm$ 1,66 Ba	90,00 $\pm$ 1,02 Aa
	4%	90,00 $\pm$ 1,02 Aa	93,33 $\pm$ 0,85 Aa
	Ampligo	100,00 $\pm$ 0,00 Aa	100,00 $\pm$ 0,00 Aa
	Tween	10,00 $\pm$ 1,02 Ca	10,00 $\pm$ 1,02 Ca
	Água	6,67 $\pm$ 0,85 Ca	10,00 $\pm$ 1,02 Ca

* Letras diferentes em maiúsculas nas colunas representam diferenças entre os tratamentos e minúsculas nas linhas representam diferença significativa entre os óleos essenciais de *Piper* analisadas, utilizando no teste de Tukey com significância de 5%.

A análise das curvas de sobrevivência corrobora com os resultados identificados nos efeitos larvicidas. Para *S. frugiperda*, os OE's apresentaram diferença significativa para *P. arboreum* ($\chi^2=197$; $p<0,001$) e para *P. fuligineum* ($\chi^2=164$; $p<0,001$). Para essa espécie o Ampligo® houve mortalidade de 100% em nenhum dos bioensaios. Para *S. cosmioides*, houve efeito significativo da aplicação dos OE's de *P. arboreum* ($\chi^2=101$; $p<0,001$) e *P. fuligineum* ($\chi^2=137$; $p<0,001$). Em *S. eridania* também houve significativo efeito dos OE's de *P. arboreum* ($\chi^2=146$; $p<0,001$) e *P. fuligineum* ($\chi^2=172$; $p<0,001$). No caso de *S.*

frugiperda, no OE de *P. arboreum* existe uma diferença entre os OE's e o controle positivo, que apresenta alta taxa de mortalidade já nas primeiras horas (Figura 14A). Para *P. fuligineum*, porém, a concentração de 4% acarretou uma alta taxa de mortalidade para a espécie (Figura 14B). Dentro das análises de sobrevivência, verifica-se o padrão demonstrado no efeito larvícida, indicando concentrações de 1% com mortalidades similares ao Ampligo®, já nas primeiras 24 horas para *S. cosmioides* nos dois OE's (Figura 14C-D) e, em *S. eridania*, apenas no OE de *P. fuligineum* (Figura 14F), enquanto *P. arboreum* apresenta maior variação nos resultados (Figura 14E).

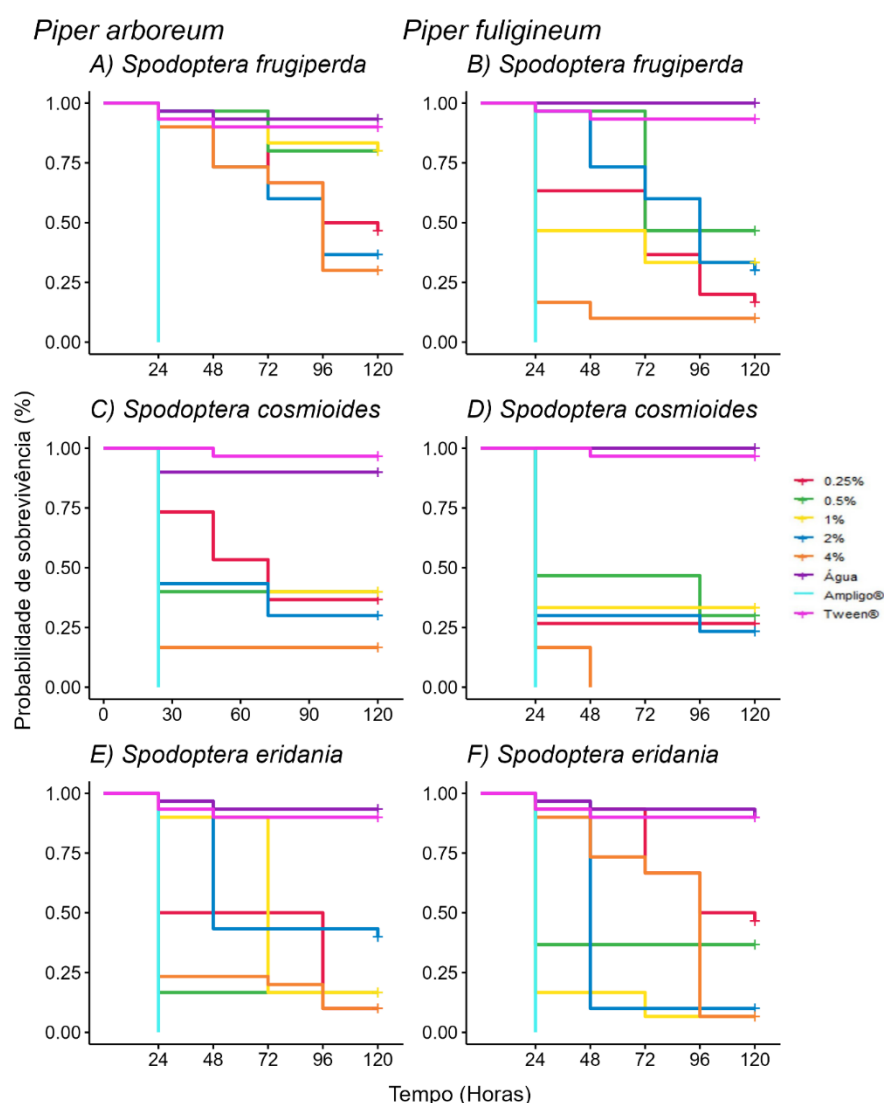


Figura 14. Curva de Kaplan-Meier analisando o desempenho temporal entre os tratamentos experimentais de óleos essenciais de *P. arboreum* e *P. fuligineum* em diferentes espécies de lepidópteros-praga com método de ingestão. A-C-E: Representam bioensaios com OE de *P. arboreum*; B-D-F: Representam bioensaios com OE de *P. fuligineum*.

As concentrações letais analisadas no método de ingestão revelam que *S. cosmioides* apresenta CL₅₀ e CL₉₀ baixas para ambos os óleos (Tabela 9). *S. eridania* por sua vez foi a espécie mais sensível a esse mecanismo de aplicação dos OE's, com CL₉₀ de 2,851 para o OE de *P. fuligineum* e 3,646 e para o OE de *P. arboreum*. *S. frugiperda*, porém apresentou CL₉₀ de 6,415 para o OE de *P. fuligineum*, embora tenha sido bastante resistente ao OE de *P. arboreum*, apresentando CL₉₀ apenas na concentração de 26,952%.

Tabela 9. Concentrações Letais (CL) dos óleos essenciais de *Piper fuligineum* e *Piper arboreum* em diferentes espécies de lepidópteros-praga no método de ingestão.

Espécie	Óleo Essencial	Concentrações Letais*		
		CL ₃₀	CL ₅₀	CL ₉₀
<i>Spodoptera frugiperda</i>	<i>Piper fuligineum</i>	0,350	0,814	6,415
	<i>Piper arboreum</i>	0,001	7,590	26,952
<i>Spodoptera cosmioides</i>	<i>Piper fuligineum</i>	0,360	0,839	6,620
	<i>Piper arboreum</i>	0,228	0,646	8,242
<i>Spodoptera eridania</i>	<i>Piper fuligineum</i>	0,333	0,622	2,851
	<i>Piper arboreum</i>	0,612	1,027	3,646

* Legenda: CL₃₀= representa a concentração/resposta necessária para causar 30% de mortalidade na população; CL₅₀= representa a concentração/resposta necessária para causar 50% de mortalidade na população; CL₉₀= representa a concentração/resposta necessária para causar 90% de mortalidade na população.

3.3.3 Efeitos subletais dos óleos essenciais

A exposição alimentar aos óleos essenciais provocou efeitos subletais em *S. frugiperda* (Figura 15), *S. cosmioides* (Figura 16) e *S. eridania* (Figura 17). Os sintomas apresentados foram escurecimento do sistema digestivo, também as lagartas podem apresentar sintomas de liquefação interna e, em algumas, um enrijecimento das estruturas.

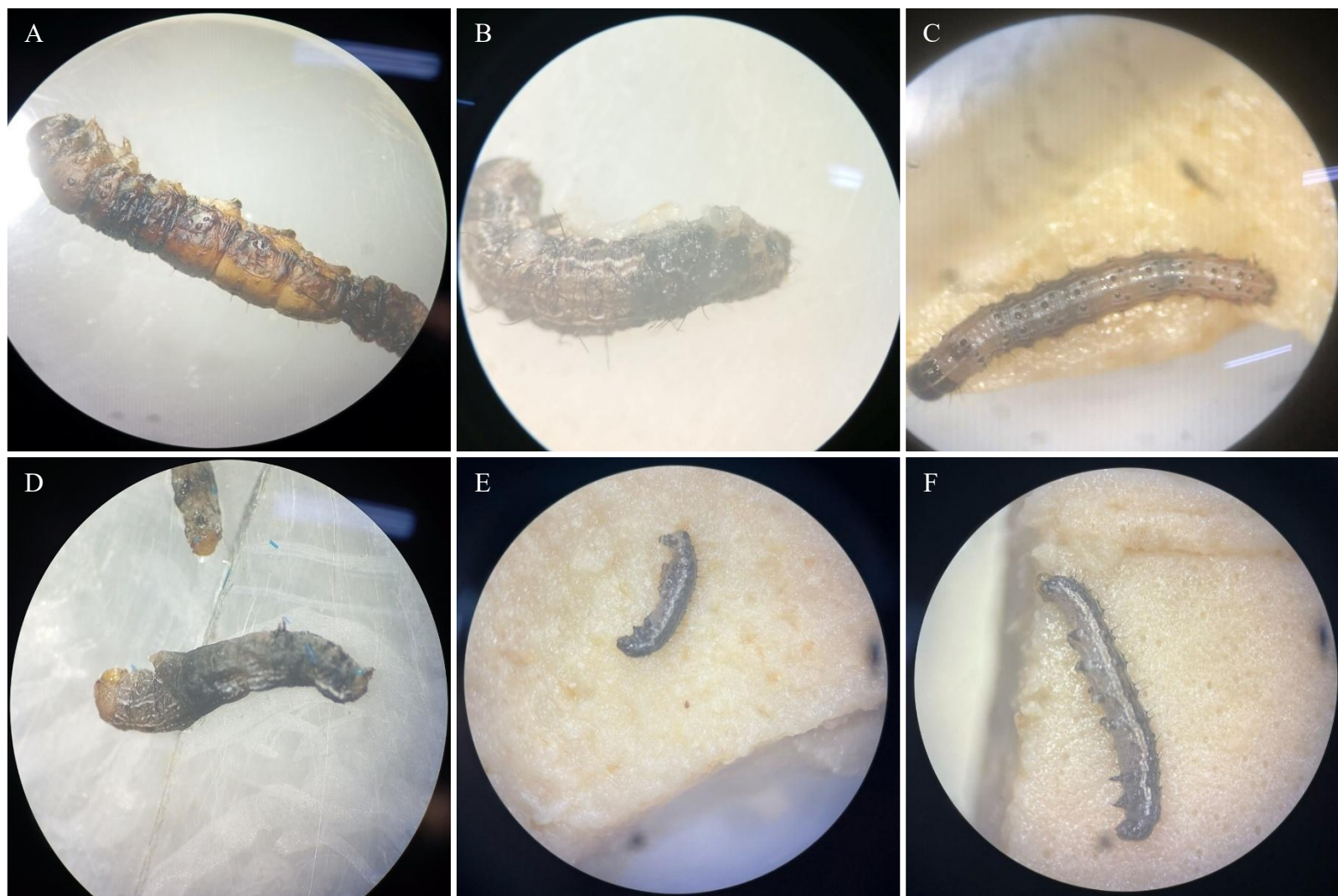


Figura 15. Registro fotográfico dos efeitos de ingestão de óleos essenciais de *Piper fuliginum* e *Piper arboreum* em *Spodoptera frugiperda*. A-C: Óleo essencial de *Piper fuliginum*; D- F: Óleo essencial de *Piper arboreum*. Fonte: O autor, 2025.

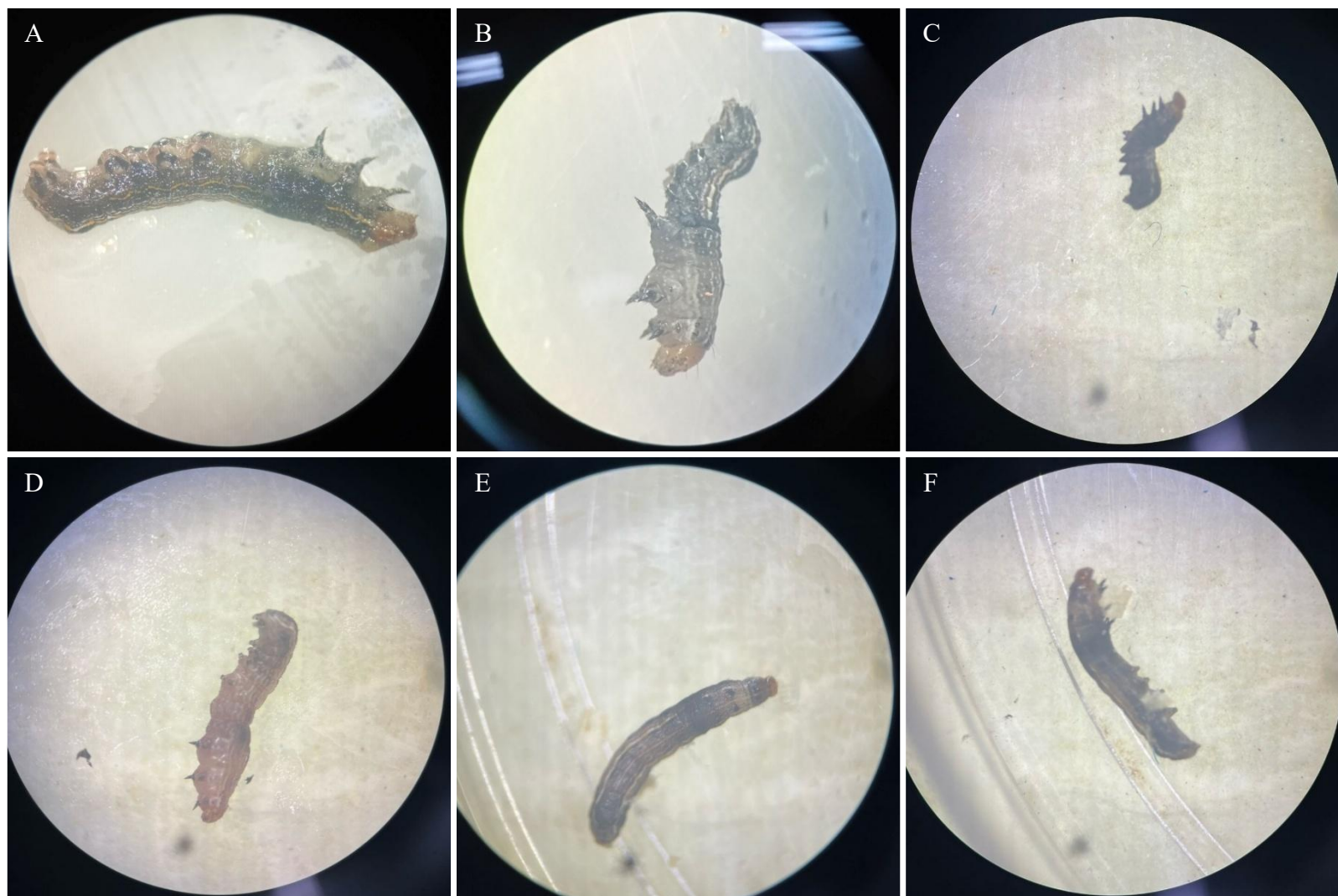


Figura 16. Registro fotográfico dos efeitos de ingestão de óleos essenciais de *Piper fuliginum* e *Piper arboreum* em *Spodoptera cosmioides*. A-C: Óleo essencial de *Piper fuliginum*; D- F: Óleo essencial de *Piper arboreum*. Fonte: O autor, 2025.

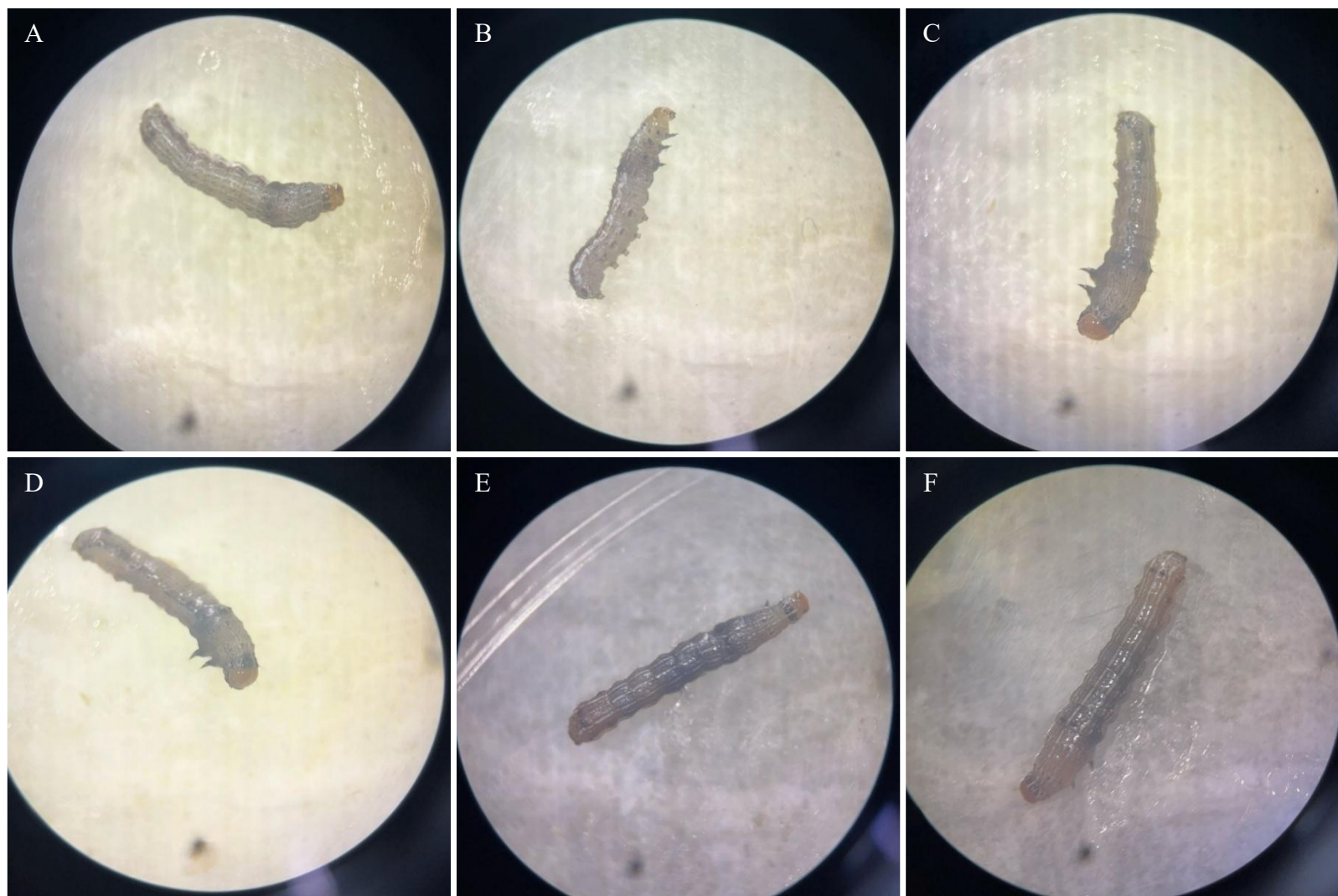


Figura 17. Registro fotográfico dos efeitos de ingestão de óleos essenciais de *Piper fuliginum* e *Piper arboreum* em *Spodoptera eridania*. A-C: Óleo essencial de *Piper fuliginum*; D- F: Óleo essencial de *Piper arboreum*. Fonte: O autor, 2025.

Com base no padrão expresso pelas espécies de acordo com a literatura, foram constatados efeitos subletais (Tabela 10). A espécie *Spodoptera frugiperda*, submetida à ingestão dos tratamentos com OE's, apresentou efeitos significativos sobre todas as variáveis avaliadas (Tabela 10). Na viabilidade larval, foram significativos os tratamentos ($\chi^2=2136,87$; $p<0,001$) e os OE's ($\chi^2=61,12$; $p<0,001$). Para o peso de pupa, os tratamentos também foram significativos ($F=8,69$; $p<0,001$), enquanto os OE's apresentaram efeito marginal ($F=3,50$; $p=0,062$). Em relação à viabilidade pupal, apenas os tratamentos foram significativos ($\chi^2=41,43$; $p<0,001$), enquanto os OE's não influenciaram essa variável ($\chi^2=0,62$; $p=0,432$). Já no consumo alimentar, tanto os tratamentos ($F=157,04$; $p<0,001$) quanto os OE's ($F=32,96$; $p<0,001$) exerceram efeito significativo.

Para *S. cosmioides*, os tratamentos influenciaram significativamente todas as variáveis avaliadas (Tabela 10). Na viabilidade larval, foram significativos os tratamentos ($\chi^2=1605,50$; $p<0,001$) e os OE's ($\chi^2=7,70$; $p=0,005$). O peso de pupa também foi afetado pelos tratamentos ($F=930,65$; $p<0,001$) e pelos OE's ($F=168,64$; $p<0,001$). Em relação à viabilidade pupal, os tratamentos mostraram-se significativos ($\chi^2=27,17$; $p<0,001$), enquanto os OE's apresentaram efeito marginal ($\chi^2=3,06$; $p=0,080$). Por outro lado, para o consumo alimentar, apenas os tratamentos foram significativos ($F=176,13$; $p<0,001$), não havendo efeito dos OE's ($F=0,02$; $p=0,883$).

No caso de *S. eridania*, os tratamentos apresentaram efeito sobre todas as variáveis analisadas (Tabela 10). Na viabilidade larval, apenas os tratamentos foram significativos ($\chi^2=2708,58$; $p<0,001$), sem efeito dos OE's ($\chi^2=0,08$; $p=0,775$). Para o peso de pupa, os tratamentos foram altamente significativos ($F=297,15$; $p<0,001$), e os OE's não apresentaram efeito ($F=0,17$; $p=0,677$). Em contrapartida, a viabilidade pupal foi influenciada tanto pelos tratamentos ($\chi^2=65,00$; $p<0,001$) quanto pelos OE's ($\chi^2 = 12,13$; $p = 0,0005$). Por fim, no consumo alimentar, observou-se efeito significativo dos tratamentos ($F=164,18$; $p<0,001$) e dos OE's ($F=6,09$; $p=0,014$).

Tabela 10. Efeitos subletais de óleos de *Piper arboreum* e *Piper fuliginum* em diferentes espécies de lepidópteros-praga com método de ingestão.

Espécie	Tratamento	Duração da fase larval (dias)		Mortalidade da pré-pupa (n)		Duração da fase de pupa (dias)		Peso da pupa (g)		Quantidade ingerida (g)	
		<i>P. arboreum</i>	<i>P. fuliginum</i>	<i>P. arboreum</i>	<i>P. fuliginum</i>	<i>P. arboreum</i>	<i>P. arboreum</i>	<i>P. fuliginum</i>	<i>P. arboreum</i>	<i>P. fuliginum</i>	<i>P. arboreum</i>
<i>S. frugiperda</i>	0,25%	14,46±0,64 Ba	14,70±0,64 Ba	0 Aa	0 Ba	9,33±0,90 Ba	8,20±0,40 Ba	0,20±0,00 Aa	0,20±0,00 Ba	0,05±0,01 Aa	0,03±0,02 Ba
	0,50%	14,35±0,47 Ba	14,45±0,50 Ba	0 Aa	0 Ba	8,36±0,48 Ba	8,00±0,00 Ba	0,17±0,00 Ba	0,40±0,37 Ab	0,02±0,01 Ba	0,02±0,01 Ba
	1%	12,00±0,29 Ba	12,12±0,30 Ba	0 Aa	0 Ba	7,63±0,70 Ba	7,67±0,47 Ba	0,11±0,00 Ba	0,15±0,02 Ca	0,01±0,00 Ba	0,03±0,01 Ba
	2%	14,64±0,61 Ba	14,40±0,49 Ba	0 Ab	4 Aa	8,57±0,49 Ba	9,20±0,40 Ba	0,25±0,03 Aa	0,24±0,04 Ba	0,05±0,03 Aa	0,01±0,03 Bb
	4%	13,33±0,55 Ba	13,00±0,00 Ba	0 Aa	0 Ba	8,58±0,70 Ba	8,57±0,49 Ba	0,18±0,01 Aa	0,21±0,01 Ba	0,08±0,00 Ab	0,04±0,03 Ba
	Ampligo	0,00±0,00 Ba	0,00±0,00 Ba	0 Aa	0 Ba	0,00±0,00 Ab	0,00±0,00 Ab	0,00±0,00 ca	0,00±0,00 Da	0,02±0,00 Ba	0,10±0,00 Bb
	Tween	17,11±0,31 Aa	18,17±0,52 Aa	0 Aa	0 Ba	10,41±1,31 Ba	10,43±0,50 Ba	0,26±0,00 Aa	0,28±0,00 Ba	0,09±0,02 Ab	0,02±0,00 Ba
	Água	18,14±0,52 Aa	17,10±0,30 Aa	0 Aa	0 Ba	10,61±0,77 Ba	10,10±0,55 Ba	0,24±0,00 Aa	0,25±0,00 Ba	0,09±0,02 Aa	0,07±0,01 Aa
<i>S. cosmioides</i>	0,25%	14,60±7,61 Ba	12,10±6,80 Ba	0 Ba	0 Ba	14,55±0,50 Ab	15,25±0,66 Aa	0,23±0,02 Ba	0,24±0,01 Ba	0,04±0,04 Ba	0,05±0,03 Ba
	0,50%	14,40±7,84 Ba	12,77±6,29 Ba	3 Aa	0 Bb	11,79±2,11 Aa	14,11±0,31 Aa	0,20±0,01 Ba	0,21±0,00 Ba	0,05±0,04 Ba	0,03±0,03 Ba
	1%	13,33±7,54 Ba	13,03±7,14 Ba	0 Ba	0 Ba	13,60±0,49 Aa	13,00±0,45 Aa	0,22±0,00 Ba	0,17±0,00 Ba	0,03±0,02 Ba	0,04±0,02 Ba
	2%	12,17±5,83 Ba	11,73±5,71 Ba	0 Bb	5 Aa	13,67±0,67 Aa	10,00±2,26 Ba	0,15±0,02 Ba	0,15±0,02 Ba	0,01±0,01 Ba	0,02±0,01 Ba
	4%	17,93±4,24 Ba	16,13±0,34 Ba	2 Aa	0 Bb	11,40±1,96 Aa	0,00±0,00 Ca	0,16±0,02 Ba	0,00±0,00 Ba	0,01±0,00 Ba	0,02±0,00 Ba
	Ampligo	0,00±0,00 Ca	0,00±0,00 Ca	0 Ba	0 Ba	0,00±0,00 Ba	0,00±0,00 Ca	0,00±0,00 Ca	0,00±0,00 Ca	0,02±0,00 Ba	0,01±0,00 Ba
	Tween	24,17±0,64 Aa	24,17±0,73 Aa	0 Ba	0 Ba	13,83±0,37 Aa	14,33±0,54 Aa	0,36±0,02 Aa	0,41±0,01 Aa	0,10±0,00 Aa	0,10±0,00 Aa
	Água	24,67±4,94 Aa	24,13±0,62 Aa	0 Ba	0 Ba	12,63±2,06 Aa	14,30±0,53 Aa	0,35±0,01 Aa	0,41±0,01 Aa	0,09±0,02 Aa	0,10±0,00 Aa
<i>S. eridania</i>	0,25%	14,67±0,47 Ba	14,64±0,61 Ba	0 Aa	0 Aa	8,33±0,47 Ba	8,57±0,49 Ba	0,27±0,01 Aa	0,25±0,03 Aa	0,02±0,02 Ba	0,05±0,03 Ba
	0,50%	13,00±0,01 Ba	13,05±0,05 Ba	0 Aa	0 Aa	8,80±0,40 Ba	8,82±0,39 Ba	0,23±0,00 Aa	0,21±0,00 Aa	0,03±0,02 Ba	0,04±0,03 Ba
	1%	14,80±0,40 Ba	15,00±0,00 Ba	0 Aa	0 Aa	8,40±1,36 Ba	9,00±1,00 Ba	0,19±0,00 Aa	0,18±0,00 Aa	0,02±0,02 Ba	0,02±0,01 Ba
	2%	14,45±0,50 Ba	14,67±0,47 Ba	0 Aa	0 Aa	8,36±0,48 Ba	8,00±0,00 Ba	0,17±0,00 Aa	0,14±0,00 Aa	0,03±0,01 Ba	0,02±0,01 Ba
	4%	12,00±0,01 Ba	12,20±0,02 Ba	0 Aa	0 Aa	0,00±0,00 Ca	10,50±0,50 Bb	0,11±0,00 Ba	0,09±0,00 Ba	0,02±0,00 Ba	0,01±0,00 Ba
	Ampligo	0,00±0,00 Ca	0,00±0,00 Ca	0 Aa	0 Aa	0,00±0,00 Ca	0,00±0,00 Ca	0,00±0,00 Ca	0,00±0,00 Ca	0,01±0,00 Ba	0,02±0,00 Ba
	Tween	19,15±1,21 Aa	17,11±0,31 Aa	0 Aa	0 Aa	12,56±1,55 Aa	10,96±0,88 Aa	0,23±0,00 Aa	0,27±0,00 Aa	0,11±0,02 Aa	0,08±0,02 Aa
	Água	18,54±0,68 Aa	18,14±0,52 Aa	0 Aa	0 Aa	13,32±1,36 Aa	10,79±0,72 Aa	0,26±0,00 Aa	0,23±0,00 Aa	0,09±0,02 Aa	0,13±0,05 Aa

* Letras diferentes em maiúsculas nas colunas representam diferenças entre os tratamentos e minúsculas nas linhas representam diferença significativa entre os óleos essenciais de *Piper* analisadas, utilizando no teste de Tukey com significância de 5%.

3.4 Discussão

De acordo com a análise dos componentes identificados nos OE's, obtidos por meio da hidrodestilação das folhas secas de *P. arboreum* e *P. fuligineum*, as espécies apresentam uma composição complexa e diversa (Rezende, 2024).

O OE de *P. arboreum* apresentou uma composição mista com a maior quantidade dos componentes sendo sesquiterpenos (Figura 13). Essa predominância dos sesquiterpenos é consistente com os estudos de Potzernheim *et al.* (2006), que relataram uma composição majoritariamente formada por sesquiterpenos em *P. arboreum* com biciclogermacreno (12,1%), 10-epi- γ -eudesmol (11,6%) e óxido de cariofileno (10,1%) como principais constituintes. Silva *et al.* (2014) obtiveram o óleo essencial de *Piper arboreum* por hidrodestilação (rendimento de 0,98%) e identificaram alta concentração de sesquiterpenos, especialmente biciclogermacreno (28,7%) e β -copaen-4- α -ol (13,3%). Em comparação, *P. dilatatum* e *P. divaricatum* renderam cerca de 1% de óleo, com germacreno D e outros sesquiterpenos dominantes. Embora esses óleos não tenham exibido atividade antioxidante relevante no teste DPPH, os extratos etanólicos de *P. arboreum* e *P. dilatatum* demonstraram capacidade expressiva de sequestro de radicais, com CE₅₀ e IAA próximos aos de ácido ascórbico.

Esses compostos são biossintetizados a partir do farnesil pirofosfato (FPP) e sofrem diversas modificações enzimáticas (oxidações e ciclizações) que dão origem a uma ampla variedade de sesquiterpenoides com diferentes funções (Awouafack *et al.*, 2013; Costa, 2015; Mazzeu, 2014). Em virtude de sua maior massa molecular, os sesquiterpenos apresentam menor volatilidade e pontos de ebulição mais altos, em comparação aos monoterpenos, o que lhes confere maior estabilidade em formulações de óleos essenciais, essas características físico-químicas são determinantes na performance dos óleos essenciais no ambiente, influenciando sua persistência, dispersão e eficácia biológica (Grassmann; Elstner, 2003).

Estudos apontam que vários sesquiterpenos isolados como biciclogermacreno, germacreno D e β -cariofileno, possuem atividade inseticida direta, causando mortalidade significativa em larvas de pragas agrícolas (Alarcón *et al.*, 2013). Além disso, efeitos subletais como inibição de alimentação e atraso no desenvolvimento também têm sido relatados (Dutra, 2018). A ação sinérgica entre componentes do OE intensifica ainda mais

esses efeitos: combinações binárias de α -felandreno (exclusivo de *P. arboreum*) com α -pineno e β -pineno (presentes em ambas as espécies) reduziram a CL_{50} para *S. frugiperda*, comprovando a importância das interações químicas na toxicidade dos extratos (Dutra, 2018). De modo semelhante, Scalerandi *et al.* (2018) demonstraram que misturas de terpenos aumentam a penetração cuticular e sobrecarregam os sistemas de detoxificação, evidenciando o papel dos efeitos sinérgicos na eficácia inseticida dos OE's.

A eficácia dos óleos essenciais de Piperaceae pode ser significativamente aumentada por meio de estratégias que favoreçam sua penetração cuticular nos insetos-alvo. A adição de surfactantes não iônicos, como o Tween® 80, tem se mostrado eficaz na redução da tensão superficial, promovendo melhor espalhamento da solução sobre o corpo do inseto e maior contato com a cutícula (Cruz *et al.*, 2022). Outra abordagem eficiente é a formulação dos óleos em nanoemulsões, cujas partículas de diâmetro inferior a 100 nm favorecem a difusão dos compostos ativos através das barreiras lipídicas da cutícula. Estudos demonstram que nanoemulsões de *P. aduncum* com partículas em torno de 97 nm proporcionaram mortalidade superior a 80% em *S. frugiperda* mesmo em concentrações reduzidas, evidenciando o aumento da eficiência inseticida. Além disso, essas formulações oferecem maior estabilidade físico-química, proteção contra degradação ambiental e potencializam a ação sinérgica entre os constituintes terpenoides, tornando o controle mais eficaz e sustentável (Abd-Elnabi *et al.*, 2025).

Enquanto *P. fuliginum* apresenta uma composição de elementos mais diversificada com relação ao tipo de componentes, apresentando tanto monoterpenos quanto sesquiterpenos e até fenilpropanóides (Figura 13). Mazzeu *et al.* (2018) descreveram em *P. fuliginum* a presença de kavalactonas como (E)-4-methoxy-6-styryl-2H-pyran-2-one, 4-methoxy-6-(3-phenyloxiran-2-yl)-2H-pyran-2-one e 6-(1,2-dihydroxy-2-phenylethyl)-4-methoxy-2H-pyran-2-one, além de derivados do ácido benzóico (methyl-4-methoxy-3-(3'-methyl-2'-butenyl)benzoate, methyl 2,2-dimethyl-4-oxochroman-6-carboxylate e methyl 4-methoxy-3-(3-methylbut-2-enoyl)benzoate). Esses compostos, que não foram detectados em nosso estudo, foram relatados por Mazzeu *et al.* (2018) a partir de extrato etanólico das folhas de *P. fuliginum*, seguido de partição sequencial (hexano, clorofórmio e acetato de etila) e fracionamento cromatográfico da fase clorofórmica. Esse método, diferente da hidrodestilação utilizada para obter o óleo essencial em nosso trabalho, pode favorecer a extração de metabólitos mais polares (como kavalactonas e derivados de ácido benzóico),

resultando em um perfil químico distinto, que reflete tanto a técnica de extração quanto possíveis variações regionais.

Por sua vez, Krinski *et al.* (2018) relataram a presença de outros componentes bioativos em *P. fuligineum*, como asaricine e dillapiol, enquanto nosso trabalho evidenciou a ocorrência de miristicina (4,37%) e apiol (4,19%), indicando que alguns constituintes fenilpropanóides podem estar presentes, ainda que haja discrepâncias quanto à detecção de outros marcadores relatados na literatura.

Essas diferenças nas composições dos OE's estão diretamente associadas a efetividade desses compostos, já que o tipo, a quantidade e a interação entre os componentes determinam a bioatividade (Gostion; Popescu, 2024; Gupta *et al.*, 2023). A variação da composição dos OE's é algo importante de ser destacado, tendo em vista que ela representa mudanças significativas na efetividade dentro dos sistemas de controle de pragas (Negrini *et al.*, 2019). A diversidade de espécies e a regionalidade podem promover alterações nos compostos e, conseqüentemente, na efetividade dos OE's. Assim, ao se considerar o uso prático desses óleos no manejo de pragas, deve-se avaliar previamente a composição química da fonte vegetal utilizada, de modo a evitar variações indesejadas no controle (Sá Filho *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2023).

Dos componentes apresentados pelas espécies, existem os que apresentam atividade inseticida já reconhecida. No óleo de *P. arboreum*, destacam-se o (E)-cariofileno (10,62%) e o germacreno D (10,55%), ambos conhecidos por suas propriedades inseticidas (Krinski *et al.* (2018). Em *P. fuligineum*, os principais componentes com atividade inseticida incluem o α -selineno (8,02%) e o β -selineno (6,18%). Além disso, ambos os óleos contêm α -pineno e β -pineno, monoterpenos reconhecidos por suas ações repelentes e tóxicas contra diversas pragas (Campos *et al.*, 2014). A presença desses compostos sugere que os óleos essenciais dessas espécies podem ser eficazes no controle de lagartas da soja, como *S. frugiperda*, *S. cosmíoides* e *S. eridania*, como foi demonstrado nesse trabalho.

Além dos efeitos diretos e de contato sobre as pragas, também é importante considerar a possibilidade de ingestão dos óleos essenciais que permanecem nas superfícies foliares após a aplicação (Lima *et al.*, 2023). A avaliação dos efeitos larvicidas dos óleos essenciais de *P. arboreum* e *P. fuligineum* sobre diferentes espécies de lepidópteros-praga permitiu observar variações na suscetibilidade entre os insetos testados, evidenciando que a eficácia inseticida pode depender tanto da composição química dos óleos quanto das

características fisiológicas e comportamentais de cada espécie. Esses aspectos serão discutidos a seguir com base nos dados obtidos.

Em geral, os OE apresentaram CL_{50} igual ou menor que 1% (Tabela 9). A exceção nesse processo é o OE *P. arboreum* testado em *S. frugiperda* com CL_{50} de 7,590. Nesse caso, a indicação é de que nessa espécie há um mecanismo de defesa mais apropriado para a contenção dos efeitos deletérios (letais e subletais) dos OE's. Esses dados estão alinhados com a literatura, que aponta para a variabilidade da eficácia dos óleos essenciais como agentes de controle de pragas, destacando a importância de se considerar a espécie-alvo na formulação de estratégias de manejo (Regnault-Roger *et al.*, 2012).

A análise das curvas de sobrevivência, por meio do método de Kaplan-Meier, reforça os achados dos ensaios larvicidas. No caso de *S. frugiperda*, a diferença entre os tratamentos experimentais e o controle positivo foi evidente, principalmente para o OE de *P. arboreum*, enquanto para o OE de *P. fuliginum* a alta mortalidade foi alcançada apenas na concentração de 4%. Em *S. cosmíodes* e *S. eridania*, concentrações mais baixas (por exemplo, 1%) demonstraram eficácia semelhante à do produto comercial Ampligo® já nas primeiras 24 horas, evidenciando uma ação rápida dos OE's. Tais resultados demonstraram a importância do tempo de exposição e da concentração utilizada para a eficácia dos óleos essenciais, conforme discutido em estudos revisados na literatura (Nerio *et al.*, 2010).

Além dos efeitos neurotóxicos e de interferência no metabolismo energético já descritos para óleos essenciais, estudos recentes apontam que alguns de seus constituintes podem induzir atividade proteolítica no trato digestivo de insetos-praga, o que foi identificado com a formação de manchas escurecidas nos insetos que passaram pelo método de ingestão. Essa ação está relacionada à degradação de proteínas estruturais e enzimáticas fundamentais, resultando em desequilíbrio metabólico e comprometimento da sobrevivência das larvas (Nerio *et al.*, 2010). Tal mecanismo complementa os efeitos já relatados, fortalecendo a hipótese de que a mortalidade e os danos fisiológicos observados estão associados a múltiplas vias de ação.

Além dos efeitos letais provocados pelos OE's, também foram observados efeitos subletais sobre as espécies de lepidópteros analisadas. Um dos principais impactos foi a alteração no tempo médio de desenvolvimento das fases larval e pupal (Tabela 7). A aceleração do ciclo de desenvolvimento em lepidópteros é uma estratégia documentada como um mecanismo de escape em ambientes adversos, permitindo que os insetos reduzam sua exposição a condições desfavoráveis (Stocks; Block, 2011). No entanto, essa estratégia

apresenta um limite adaptativo, pois um desenvolvimento excessivamente rápido pode comprometer a ingestão adequada de alimento e nutrientes, dificultando a conclusão do ciclo de vida de forma eficiente (Janssens; Block, 2018).

Esse efeito foi identificado por Lima *et al.* (2009), ao estudarem o impacto do OE de *P. hispidinervum* sobre *S. frugiperda*, comprovando que a redução no tempo de desenvolvimento resultou em menor acúmulo de reservas nutricionais. Da mesma forma, Rezende (2024) observou uma diminuição significativa no período necessário para a pupação de *S. frugiperda* submetida a OE's de diferentes espécies de *Piper* sp., sugerindo que esse efeito pode ser um padrão recorrente em lagartas expostas a compostos bioativos dessa família. Essas alterações podem comprometer a viabilidade reprodutiva e a longevidade dos indivíduos, o que reforça a importância de se investigar os impactos subletais dos OE's como uma estratégia adicional no manejo integrado de pragas.

Esses efeitos podem gerar uma redução da quantidade de energia disponível no processo de ecdise, o que incrementa em dificuldades no processo de produção da pupa, o que acarreta aumento da mortalidade durante o período de pré-pupa. Nesse trabalho foi detectado esse efeito, pois foi registrada mortalidade na fase de pré-pupa, nas concentrações de 1 e 2%, apenas para *S. frugiperda* e *S. cosmioides*, não afetando as lagartas de *S. eridania*.

Em relação ao peso médio das pupas, os efeitos foram severos para *S. cosmioides* e *S. eridania*. Gorri (2018) destaca que a redução do peso das larvas é um importante indicativo da eficiência de um OE, tendo em vista que representa que a taxa de conversão de nutrientes em peso foi prejudicada, indicando redução na taxa de alimentação ou até mesmo através da promoção de danos imunológicos causados às lagartas. No caso de *S. frugiperda*, houve menor redução de peso de pupa, com muitos casos de concentrações como de 2 e 4% de ambas as espécies sendo significativamente iguais aos controles negativos, que, em tese, não devem prejudicar esse parâmetro.

Tal fator pode estar associado a um efeito fagoinibidor, que já foi identificado para alguns OE's de Piperaceae, tanto na fase larval como adulta (Cruz *et al.*, 2017; Dutra *et al.*, 2018). O efeito se associa diretamente ao resultado do consumo de dieta, que foi prejudicado pela presença dos compostos nocivos aos insetos (OE's e Ampligo®). Então, a presença desses compostos promoveu uma redução significativa na quantidade de matéria que essas lagartas ingeriram. Exceto em *S. frugiperda* tratada com OE de *P. arboreum*, não foi observada diferença significativa no consumo de dieta entre os demais tratamentos experimentais. Esse resultado indica que, além de exercerem ação letal, os OE's podem

reduzir o dano causado pelas lagartas, ao prejudicarem diretamente seu desenvolvimento por meio da diminuição na ingestão de alimento (Isman, 2006; Marinho-Prado *et al.*, 2018).

Esse efeito fagoinibidor é denominado de deterência alimentar e os OE's já são conhecidos por produzirem efeito redutor de ingestão, quando aplicados em superfícies e consumidos pelas lagartas (Marinho-Prado *et al.*, 2018; Pengsook *et al.*, 2022). Nesse trabalho, em geral, os OE's promoveram deterência alimentar importante em todas as espécies de lepidópteros analisadas, chegando a reduzir à metade a quantidade de alimento consumido, quando comparado ao controle.

Lima *et al.* (2009), ao investigarem o efeito do OE de *Piper hispidinervum* sobre *S. frugiperda*, por exemplo, detectaram que houve redução no consumo de lagartas de primeiro até terceiro instar. Assim como nesse trabalho, Celis *et al.* (2014) também notaram que para OE's de *P. arboreum*, apenas concentrações menores do que nesse trabalho, os autores usaram doses de 0,005% e 0,01% (sendo as medidas do trabalho 50mg L⁻¹ e 100mg L⁻¹, respectivamente) apresentaram efeito de inibição alimentar, enquanto a concentração de 0,02% (200mg L⁻¹) não apresentou esse efeito, sugerindo então que maiores concentrações não são eficientes para a praga.

Pengsook *et al.* (2022) também detectaram que os OE's de *Piper ribesioides* apresentaram potencial de redução de ingestão no ataque a *Brassica oleracea* variedade alboglabra. Os autores indicam que, assim como nos resultados encontrados nesse capítulo, esse efeito de redução gera menor pressão em campo, reduzindo diretamente os danos e consequentemente os prejuízos econômicos.

Essa eficiência está diretamente associada a presença dos terpenos, que apresentam uma atividade lipofílica e se associam a membrana plasmática das células estomacais que podem gerar lesões desencadeando o efeito fagoinibidor (Dutra *et al.*, 2020; Lima *et al.*, 2024). A redução dos danos por ingestão das lagartas contribui para diminuir a pressão da praga sobre a cultura, permitindo a recuperação dos tecidos vegetais e ampliando a janela de atuação dos óleos essenciais. No entanto, a ação dos OE's por ingestão tende a ser mais lenta quando comparada ao contato direto, pois envolve a absorção e metabolização dos compostos bioativos no trato digestivo do inseto antes que os efeitos tóxicos se manifestem. Esse mecanismo, apesar de mais gradual, pode causar efeitos subletais importantes, como inibição da alimentação, alterações fisiológicas e redução na taxa de desenvolvimento e sobrevivência, contribuindo para o manejo a médio prazo da praga (Koul, 2016).

3.5 Considerações Finais

A ingestão de óleos essenciais de *P. fuligineum* e *P. arboreum* apresentou efeito larvicida significativo sobre as espécies de lepidópteros-praga analisadas. Além disso, foram observados diversos efeitos deletérios para as pragas, incluindo a redução do tempo de desenvolvimento das larvas e pupas, bem como a diminuição do peso das pupas. Esses efeitos indicam que os óleos essenciais interferem no desenvolvimento dos insetos, contribuindo para o controle populacional dessas espécies.

Os resultados obtidos reforçam que os óleos essenciais de *P. fuligineum* e *P. arboreum* são alternativas viáveis para o manejo integrado de lepidópteros do complexo *Spodoptera* em sistemas de produção agrícola. Além disso, a semelhança entre os efeitos observados, para ambos os óleos, sugere a possibilidade de seu uso combinado, potencializando sua eficácia. No entanto, são necessários estudos adicionais para avaliar a segurança ambiental e a viabilidade de aplicação desses produtos em larga escala. A segurança ambiental pode ser verificada por meio de bioensaios com organismos não alvo, testes ecotoxicológicos e análises da degradação e persistência dos compostos no ambiente. Já a viabilidade de aplicação deve considerar fatores como estabilidade do produto, custo de produção, compatibilidade com tecnologias agrícolas existentes e eficácia em condições reais de campo. Dessa forma, os óleos essenciais podem representar uma estratégia inovadora e sustentável para o controle de pragas agrícolas.

Como continuidade deste estudo, recomenda-se a realização de análises cromatográficas e espectrométricas (como GC-MS) para a identificação precisa dos compostos bioativos responsáveis pelos efeitos observados, além de testes complementares em laboratório para caracterizar o modo de ação e possíveis efeitos fisiológicos sobre os insetos. Também se sugerem ensaios em casa de vegetação e em campo, visando validar a eficácia dos óleos essenciais em condições reais, com diferentes cultivares, regimes de aplicação e pressões de infestação. Esses estudos são fundamentais para consolidar o uso desses extratos no contexto do manejo integrado de pragas.

3.6 Referências Bibliográficas

ABD-ELNABI, A. D. *et al.* Plant Oil Nano-Emulsions as a Potential Solution for Pest Control in Sustainable Agriculture. **Pest Control**, v. 54, n. 35, p. 1-10, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13744-024-01243-5>. Acesso: 10 jul., 2025.

ADAMS, R. P. **Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/mass spectrometry**. New York: Texensis Publishing, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/283650275_Identification_of_Essential_Oil_Components_by_Gas_ChromatographyQuadrupole_Mass_Spectroscopy. Acesso: 10 nov., 2024.

AIOUB, M. S. S. *et al.* Plant-Based Bioinsecticides for Mosquito Control: Impact on Insecticide Resistance and Disease Transmission. **Insects**, v. 13, n. 2, p. 1-12, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/insects13020162>. Acesso em: 15 jul., 2024.

ALARCON, J. *et al.* Insecticidal activity of sesquiterpenes skeleton synthesized by the conventional Robinson annulations reaction on *Drosophila melanogaster*. **Industrial Crops and Products**, v. 42, n. 1, p. 268-272, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.05.026>. Acesso: 12 maio, 2025.

ARAÚJO, C. R. Aspectos Biológicos de *Spodoptera cosmioides* Walker, 1858 (Lepidoptera: Noctuidae) nas cultivares de algodoeiro Deltaopal e Nuopal (Bollgard I). 2009. 55 f. Dissertação (Mestre em Agronomia (Entomologia Agrícola)) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009. Disponível em: <https://www.fcav.unesp.br/Home/download/pgtrabs/ea/m/3586.pdf>. Acesso: 5 fev., 2025.

ÁVILA, C. J.; SANTOS, V. **Manejo Integrado de Pragas (MIP) na Cultura da Soja: Um estudo de caso com benefícios econômicos e ambientais**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2018. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1098927/1/DOC14320182.pdf>. Acesso: 5 jan., 2025.

AWOUAFACK, M. D. *et al.* Sesquiterpenes from the Medicinal Plants of Africa. In: AWOUAFACK, M. D. *et al.* (Eds.). **Medicinal Plant Research in Africa**. Amsterdam: Elsevier, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405927-6.00002-3>. Acesso: 10 maio, 2025.

BAVARESCO, A. B. *et al.* Biologia e Exigências Térmicas de *Spodoptera cosmioides* (Walk.) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 1, p. 49-54, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2002000100007>. Acesso: 18 nov., 2024.

BUSATO, G. R. *et al.* Exigências térmicas e estimativa do número de gerações dos biótipos "milho" e "arroz" de *Spodoptera frugiperda*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 4, p. 329-335, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000400003>. Acesso: 18 nov., 2024.

BUSATO, G. R. *et al.* Susceptibilidade de lagartas dos biótipos milho e arroz de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) a inseticidas com diferentes modos de ação. **Ciência Rural**, v. 36, n. 1, p.15-20, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000100003>. Acesso: 18 dez., 2024.

CAMPOS, A. C. T. *et al.* Atividade repelente e inseticida do óleo essencial de carqueja doce sobre o caruncho do feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.8, p.861–865, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n08p861-865>. Acesso em: 10 jan., 2025.

CELIS, A. *et al.* Effect of Piper Extracts in Fall Armyworm (*Spodoptera frugiperda* Smith), under Semi-Controlled Conditions. **Acta Horticulturae**, n. 1030, p. 49-54, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1030.5>. Acesso em: 15 jan., 2025.

CHAVES, D. S. A. Metabólitos secundários de origem vegetal: uma fonte potencial de fármacos antitrombóticos. **Química Nova**, v. 33, n. 1, p. 172-180, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000100030>. Acesso em: 5 jan., 2024.

CÔRREA, J. C. R.; SALGADO, H. R. N. Atividade inseticida das plantas e aplicações: revisão. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 13, n. 4, p. 500-506, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-05722011000400016>. Acesso: 03 fev., 2025.

CORRÊA, J. C. R.; SALGADO, H. R. N. Insecticidal activities of plants and applications: a review. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 13, n. 4, p.500-506, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-05722011000400016>. Acesso em: 1 dez., 2024.

CRUZ, A. S. L. *et al.* Nanoemulsified Formulation of *Cedrela odorata* Essential Oil and Its Larvicidal Effect against *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). **Molecules**, v. 27, n. 9, p. 1-7, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules27092975>. Acesso: 10 jul., 2025.

CRUZ, G. S. *et al.* (2017). Effect of transanethole, limonene and your combination in nutritional components and their reflection on reproductive parameters and testicular apoptosis in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Chemico-Biological Interactions**, v. 263, n. 1, p. 74-80, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2016.12.013>. Acesso: 10 fev., 2024.

DOOL, H. V. D.; KRATZ, P. D. J. A. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 11, n. 1m p. 463-471, 1963. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(01\)80947-X](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(01)80947-X). Acesso: 16 jul., 2025.

DUTRA, K. A. *et al.* Toxicity of Essential Oils of Leaves of Plants from the Genus *Piper* with Influence on the Nutritional Parameters of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Essential Oil-Bearing Plants**, v. 23, n. 2, p. 213-229, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0972060X.2020.1756423>. Acesso: 20 jan., 2025.

GORRI, J. E. R. **Prospecção de extratos botânicos para o controle de *Spodoptera frugiperda***. 2018. 37 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018. Disponível em:

<https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/1ac8c891-69ab-4343-9c60-a6ffb59e445c/content>. Acesso em: 15 jan., 2025.

GOSTION, I. N.; POPESCU, I. E. Evaluation of the Essential Oils Used in the Production of Biopesticides: Assessing Their Toxicity toward Both Arthropod Target Species and Beneficial Pollinators. *Agriculture*, v. 14, n. 1, p. 1-29, 2024. Disponível em:

<https://doi.org/10.3390/agriculture14010081>. Acesso em: 15 fev., 2024.

GRASSMANN, J.; ELSTNER, E. F. Essential Oils: Properties and Uses. **Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition**, v. 2, n. 1, p. 2177-2184, 2003. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00425-9>. Acesso: 11 maio, 2025.

GREENE, G. L. *et al.* Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium.

Journal of Economic Entomology, v. 69, n. 4, p. 487-488, 1976. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1093/jee/69.4.487>. Acesso: 15 jul., 2024.

GUPTA, I. *et al.* Plant Essential Oils as Biopesticides: Applications, Mechanisms, Innovations, and Constraints. **Plants**, v. 12, n. 16, p. 2-29, 2023. Disponível em:

<https://doi.org/10.3390/plants12162916>. Acesso em: 15 fev., 2024.

ISMAN, M. B. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annual Review of Entomology*, v. 51, p. 45-66, 2006.

Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151146>. Acesso: 5 dez., 2024.

JANSSENS, L.; STOCKS, R. Rapid larval development under time stress reduces adult life span through increasing oxidative damage. **Brithsh Ecological Society**, v. 32, n. 4, p. 1036-1045, 2018. Disponível em:

<https://doi.org/10.1111/1365-2435.13068>. Acesso: 6 jun., 2025.

KOUL, O. Bioassays. In: KOUL, O. **The handbook of naturally occurring insecticidal toxins**. Wallingford: CABI Digital Library, 2016. Disponível em:

<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/book/10.1079/9781780642703.0000>. Acesso: 15 jan., 2025.

KRINSKI, D. *et al.* Ovicidal effect of the essential oils from 18 Brazilian Piper species: controlling *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera, Erebidae) at the initial stage of development. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 40, e35273, 2018. Disponível em:

<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.35273>. Acesso em: 21 fev., 2025.

LIMA, B. S. A. Abamectin induces mortality, inhibits food consumption, and causes histological changes in the midgut of the velvetbean caterpillar *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Pest Science**, v. 97, p. 213-227, 2024. Disponível em:

<https://doi.org/10.1007/s10340-023-01642-4>. Acesso em: 14 jan., 2025.

LIMA, R. K. *et al.* Atividade inseticida do óleo essencial de pimenta longa (*Piper hispidinervum* C. DC.) sobre lagarta-do-cartucho do milho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). **Acta Amazônica**, v. 39, n. 2, p. 377-382, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672009000200016>. Acesso: 15 jan., 2025.

LOUREIRO, E. S. *et al.* Manejo de *Spodoptera cosmioides* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) com bioinseticidas. **Research Society and Development**, 9, n. 7, p. 1-10, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4142>. Acesso em: 14 jan., 2025.

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Ampligo®**. Agrofit: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários, 2024. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso: 10 out., 2024.a

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. ***Spodoptera frugiperda***. Agrofit: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários, 2024. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso: 10 out., 2024.b

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. ***Spodoptera cosmioides***. Agrofit: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários, 2024. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso: 10 out., 2024.c

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. ***Spodoptera eridania***. Agrofit: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários, 2024. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso: 10 out., 2024.d

MARCHIORO, C. A. Efeito de dietas artificiais sobre o desenvolvimento e reprodução de *Pseudaletia sequax* Franclemont, 1951 (Lepidoptera: Noctuidae) e do parasitoide de ovos *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae). 2007. 246 f. Dissertação (Mestrado em Zoologia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/handle/1884/10637>. Acesso: 15 jul., 2024.

MARINHO-PRADO, J. S. *et al.* Bioatividade de extratos de plantas sobre lagartas de *Anticarsia gemmatalis* e *Helicoverpa armigera*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2018. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1095015/1/2018BP02.pdf>. Acesso: 5 dez., 2024.

MAZZEU, B. F. *et al.* Kavalactones and benzoic acid derivatives from leaves of *Piper fuliginum* Kunth (Piperaceae). **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 29, n. 6, p. 1286-1290, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20170225>. Acesso em: 21 fev., 2025.

NCBI. NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. **PubChem Database**. PubChem Database, 2024. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>. Acesso em: 1 jan., 2025.

NEGRINI, M. Insecticidal activity of essential oils in controlling fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 86, n. 1, p. e1112018, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1808-1657001112018>. Acesso em: 22 fev., 2025.

NERIO, L. S. *et al.* Repellent activity of essential oils: a review. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 1, p. 372-378, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.048>. Acesso: 10 jan., 2025.

OLIVEIRA, *et al.* Aspectos Biológicos de *Spodoptera eridania* (Lepidoptera: Noctuidae) Desenvolvida em Milho Bt e Não Bt. In: Jornada Acadêmica da Embrapa Soja, 13. **Anais [...]**. Londrina: Embrapa Soja, 2013. Disponível em: https://cgpe.sct.embrapa.br/publica_detalhes.asp?CodCGP=10673. Acesso: 5 fev., 2025.

OLIVEIRA, K. B. *et al.* Aspectos Biológicos de *Spodoptera eridania* (Lepidoptera: Noctuidae) Desenvolvida em Milho Bt e Não Bt. In: Jornada Acadêmica da Embrapa Soja, 8. **Anais [...]**. Londrina: Embrapa Soja, 2013. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/964391/1/AspectosbiologicosdeSpodopteraeridaniaLepidopteraNoctuidaedesenvolvidaemmilhoBtenaoBt.pdf>. Acesso: 5 jan., 2025.

PARRA, J. R. P.; DE CARVALHO, S. M. Biologia e nutrição quantitativa de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) em meios artificiais compostos de diferentes variedades de feijão. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 13, n. 2, p. 305-319, 1984.

PENGSOOK, A. *et al.* Antifeedant Activity and Biochemical Responses in *Spodoptera exigua* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) Infesting Broccoli, Brassica oleracea var. alboglabra exposed to *Piper ribesiodides* Wall Extracts and Allelochemicals. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 9, n. 17, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00270-3>. Acesso: 25 jan., 2025.

PINHEIRO, K. D. *et al.* Efeito ovicida de óleo essencial de folhas e frutos de *Piper fuliginum* (Piperaceae) sobre ovos de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera). **Journal of Education Science and Health**, v. 2, p. 1-10, 2022. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.52832/jesh.v2i3.147>. Acesso: 1 jan., 2025.

POTZERHEIM, M. C. L. *et al.* Análise dos óleos essenciais de três espécies de *Piper* coletadas na região do Distrito Federal (Cerrado) e comparação com óleos de plantas procedentes da região de Paraty, RJ (Mata Atlântica). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 16, n. 2, p. 246-251, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2006000200019>. Acesso em: 21 fev., 2025.

QIANJIN, D. *et al.* A simple method for identifying sexuality of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) pupae and adults. **Plant Protection**, v. 11, n. 1982, p. 1-7, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.16688/j.zwbh.2019367>. Acesso: 16 jan., 2025.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 15 set., 2024.

REGNAULT-ROGER, C. *et al.* Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. **Annual Review of Entomology**, v. 57, p. 405-424, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120710-100554>. Acesso: 10 nov., 2024.

REZENDE, K. F. **Bioprospecção de óleos essenciais no controle de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797)**. 2024. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Tangará da Serra, 2024. Disponível em: <https://portal.unemat.br/index.php?pg=site&i=ppgasp&m=dissertacoes-defendidas>. Acesso: 10 out., 2024.

ROSA, A. P. A. Biologia e tabela de vida de fertilidade de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) em linhagens de milho. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 79, n. 1, p. 39-45, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aib/a/Y7RtND8HVXWK9fBqf3R936w/#:~:text=O%20objetivo%20deste%20trabalho%20foi%20estudar%20os%20aspectos,de%20Melhoramento%20de%20Milho%20da%20Embrapa%20Clima%20Temperado>. Acesso: 5 fev., 2025.

ROSA, A. P. S. A.; BARCELOS, H. T. **Bioecologia e controle de *Spodoptera frugiperda* em milho**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/935552/1/Documento344.pdf>. Acesso: 18 nov., 2024.

RUSSELL, V. L. *et al.* **emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means**. R package, 2024. Disponível em: <https://rvlenth.github.io/emmeans/>. Acesso em: 15 set., 2024.

SÁ FILHO, J. C. F. Geographic location and seasonality affect the chemical composition of essential oils of *Lippia alba* accessions. **Industrial Crops and Products**, v. 188, n. 115602, p. 1-10, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115602>. Acesso em: 16 fev., 2024.

SANINI, C. *et al.* Essential oil of spiked pepper, *Piper aduncum* L. (Piperaceae), for the control of caterpillar soybean looper, *Chrysodeixis includens* Walker (Lepidoptera: Noctuidae). **Brazilian Journal of Botany**, v. 40, n. 2, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s40415-017-0363-6>. Acesso: 10 fev., 2025.

SANTOS, K. B. *et al.* Biologia de *Spodoptera eridania* (Cramer) (Lepidoptera: Noctuidae) em Diferentes Hospedeiros. **Neotropical Entomology**, v. 34, n. 6, p. 903-910, 2005. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1098927/1/DOC14320182.pdf> <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2005000600005>. Acesso: 5 jan., 2025.

SANTOS, S. M. Seasonal and geographical variation in the chemical composition of essential oil from *Allophylus edulis* leaves. **South African Journal of Botany**, v. 154, n. 1,

p. 41-45, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.12.013>. Acesso em: 16 fev., 2024.

SARTOR, R. B. **Modelagem, simulação e otimização de uma unidade industrial de extração de óleos essenciais por arraste a vapor**. 2009. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/21924/000737903.pdf?sequence=1>. Acesso: 12 dez., 2024.

SCALERANDI, E. *et al.* Understanding Synergistic Toxicity of Terpenes as Insecticides: Contribution of Metabolic Detoxification in *Musca domestica*. *Frontiers in Plant Science*, v. 29, n. 1, p. 1-9, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01579>. Acesso: 12 maio, 2025.

SILVA, A. *et al.* Development and reproduction of *Spodoptera eridania* on natural hosts and artificial diet. **Brazilian Journal of Biology**, v. 79, n. 1, p.80-86, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.177219>. Acesso: 18 nov., 2024.

SILVA, J. A. *et al.* Atividade antioxidante de *Piper arboreum*, *Piper dilatatum* e *Piper divaricatum*. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 16, n. 3, supl. I, p. 700-706, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1983-084x/13_097. Acesso em: 21 fev., 2025.

SOUTO, N. *et al.* Estudos Preliminares da Atividade Inseticida de Óleos Essenciais de Espécies de *Piper linneus* (Piperaceae) em Operárias de *Solenopsis saevissima* f Smith (Hymenoptera: Formicidae), em Laboratório. **Biota Amazônia**, v. 1, n. 1, p. 42-48, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v1n1p42-48>. Acesso: 10 nov., 2024.

SPLETOZER, A. G. *et al.* Plantas com potencial inseticida: enfoque em espécies amazônicas. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 2, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509832244>. Acesso em: 5 jan., 2024.

STOCKS, R.; BLOCK, M. D. Rapid Growth Reduces Cold Resistance: Evidence from Latitudinal Variation in Growth Rate, Cold Resistance and Stress Proteins. **Plos One**, v. 26, n. 6, p. 1-10, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0016935>. Acesso: 6 jun., 2025.

TEODORO, A. V. *et al.* ***Spodoptera cosmioides* (Walker) e *Spodoptera eridania* (Cramer) (Lepidoptera: Noctuidae): Novas Pragas de Cultivos da Região Nordeste**. Aracaju: Embrapa, 2013. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/977975/1/cot131.pdf>. Acesso: 18 nov., 2024.

THERNEAU, T. M. *et al.* **survival: Survival Analysis**. R Package, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.survival>. Acesso em: 15 set., 2024.

WICKHAN, H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. New York: Springer-Verlag, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1111/j.1467-985X.2010.00676_9.x. Acesso em: 15 set., 2024.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo confirmam o potencial dos óleos essenciais de *P. arboreum* e *P. fuligineum* como biopesticidas eficientes contra lepidópteros-praga da soja. A ação inseticida foi comprovada tanto por contato quanto por ingestão, demonstrando versatilidade de aplicação. A elevada mortalidade observada em *S. frugiperda*, *S. cosmioides* e *S. eridania* reforça a relevância desses extratos na formulação de estratégias de manejo fitossanitário mais sustentáveis. Futuras investigações devem focar na otimização das formulações e na avaliação dos impactos em organismos não alvo, assim como na definição de protocolos de aplicação em campo, visando consolidar seu uso em larga escala.

Além dos efeitos letais, observou-se que os óleos essenciais também promovem efeitos subletais, como a redução do peso das pupas, interferência na ecdise e aceleração do desenvolvimento larval. Essas características são particularmente relevantes, pois podem comprometer a sobrevivência e a capacidade reprodutiva das pragas ao longo do tempo, reduzindo sua população de forma sustentável.

Outro ponto de destaque é a viabilidade técnica do uso desses óleos no controle de pragas, especialmente considerando sua possível aplicação via pulverização agrícola. No entanto, para que essas alternativas sejam implementadas de maneira eficiente em larga escala, é essencial aprofundar os estudos sobre a formulação desses compostos, sua estabilidade e compatibilidade com outros insumos agrícolas. Além disso, a viabilidade econômica deve ser avaliada, comparando-se os custos desses produtos com os dos inseticidas sintéticos já disponíveis no mercado.

A presente pesquisa contribui significativamente para o desenvolvimento de alternativas mais sustentáveis no controle de pragas, promovendo um equilíbrio entre eficiência agrícola e menor impacto ambiental. Entretanto, ainda existem lacunas a serem exploradas, como a investigação dos mecanismos de ação desses compostos, sua influência sobre organismos não alvo e a persistência dos efeitos em condições de campo.

Diante do exposto, recomenda-se que futuros estudos abordem a otimização das formulações comerciais desses óleos, bem como sua integração em programas de manejo integrado de pragas. Além disso, políticas públicas que incentivem o uso de biopesticidas podem contribuir para ampliar sua adoção, promovendo uma agricultura mais sustentável e alinhada às demandas ambientais e socioeconômicas.

5 ANEXOS

5.1 Anexo A: Concentrações química (%) obtidos por hidrodestilação das folhas secas de duas espécies de *Piper fuliginum* e *Piper arboreum* (Piperaceae) coletada em Tangará da Serra, Mato Grosso.

Constituintes	Classificação	Índice Aritmético de Literatura	Espécies de <i>Piper</i> sp. (% da área de pico)	
			<i>Piper arboreum</i>	<i>Piper fuliginum</i>
α -tujeno	Monoterpeno Hidrocarboneto	924	0,47	–
α -pineno	Monoterpeno Hidrocarboneto	932	4,04	1,21
β -pineno	Monoterpeno Hidrocarboneto	974	2,57	2,33
mirceno	Monoterpeno Hidrocarboneto	988	0,96	–
α -felandreno	Monoterpeno Hidrocarboneto	1002	2,98	–
α -terpineno	Monoterpeno Hidrocarboneto	1014	–	–
p-cimeno	Monoterpeno Hidrocarboneto	1020	1,55	–
limoneno	Monoterpeno Hidrocarboneto	1024	1,73	1,19
β -felandreno	Monoterpeno Hidrocarboneto	1025	–	–
(Z)- β -ocimeno	Monoterpeno Hidrocarboneto	1032	0,57	1,11
(E)- β -ocimeno	Monoterpeno Hidrocarboneto	1044	2,32	–
γ -terpineno	Monoterpeno Hidrocarboneto	1054	–	–
terpinoleno	Monoterpeno Hidrocarboneto	1086	–	–
linalol	Monoterpeno Oxigenado	1095	–	–
δ -elemeno	Sesquiterpeno hidrocarboneto	1335	3,34	–
α -ylangeno	Sesquiterpeno hidrocarboneto	1373	1,65	–
4-Metoxibenzoato de metila	Fenilpropanóide	1371	–	2,23
α -copaeno	Sesquiterpeno hidrocarboneto	1374	–	3,15
β -cubebeno	Sesquiterpeno hidrocarboneto	1387	0,32	1,12
β -elemeno	Sesquiterpeno hidrocarboneto	1389	0,9	–

(E)-cariofileno	Sesquiterpeno hidrocarboneto	1417	10,62	6,48
β -copaeno	Sesquiterpeno hidrocarboneto	1430	2,32	–
α -trans-bergamoteno	Sesquiterpeno hidrocarboneto	1432	1,31	3,21
γ -elemeno	Sesquiterpeno hidrocarboneto	1434	–	1,62
aromadendreno	Sesquiterpeno hidrocarboneto	1439	1,72	1,03
α -humuleno	Sesquiterpeno hidrocarboneto	1452	1,79	1,42
allo-aromadendreno	Sesquiterpeno hidrocarboneto	1458	0,38	–
γ -muuroleno	Sesquiterpeno hidrocarboneto	1478	2,29	1,06
germacreno D	Sesquiterpeno hidrocarboneto	1480	10,55	6,62
β -selineno	Sesquiterpeno hidrocarboneto	1489	–	6,18
cis- β -guaieno	Sesquiterpeno hidrocarboneto	1492	–	2,55
α -selineno	Sesquiterpeno hidrocarboneto	1498	–	8,02
biciclogermacreno	Sesquiterpeno hidrocarboneto	1500	19,31	–
α -muuroleno	Sesquiterpeno hidrocarboneto	1500	1,43	–
β -bisaboleno	Sesquiterpeno hidrocarboneto	1505	0,74	–
δ -amorfeno	Sesquiterpeno hidrocarboneto	1511	1,36	–
γ -cadineno	Sesquiterpeno hidrocarboneto	1513	0,32	2,95
cubenol	Sesquiterpeno Oxigenado	1514	1,93	–
miristicina	Fenilpropanóide	1517	–	4,37
cis-calameneno	Fenilpropanóide	1528	–	1,06
germacreno B	Sesquiterpeno	1559	0,98	–
(E)-nerolidol	Sesquiterpeno	1561	1,15	1,66
espatulenol	Sesquiterpeno Oxigenado	1577	7,89	2,09
óxido cariofileno	Sesquiterpeno Oxigenado	1582	1,34	1,99
globulol	Sesquiterpeno Oxigenado	1590	1,22	1,88
ledol	Sesquiterpeno	1602	0,84	–
selina-6-en-4-ol	Sesquiterpeno	1615	–	4,06
epi- α -cadinol	Sesquiterpeno Oxigenado	1638	0,33	1,44
epi- α -muurolol	Sesquiterpeno Oxigenado	1640	1,39	–
α -muurolol	Sesquiterpeno Oxigenado	1644	0,94	–
α -cadinol	Sesquiterpeno Oxigenado	1652	–	2,44
α -eudesmol	Sesquiterpeno Oxigenado	1652	3,2	–
neo-intermedeol	Arilpropanóide	1658	–	10

apiol	Fenilpropanóide	1677	–	4,19
Eudesm-7(11)-en-4-ol	Arilpropanóide	1700	–	1,52
Total da composição (%)				

Fonte: Rezende (2024).