



AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE *PIPER ARBOREUM* E *PIPER FULIGINEUM* COM MECANISMO DE CONTATO PARA O CONTROLE DE LEPIDÓPTEROS-PRAGA DA CULTURA DA SOJA

ARTIGO ORIGINAL

REVERTE, Carlos Henrique Costa¹, SILVA, Jefferson Marcelo Arantes da², KRINSKI, Diones³, BUTNARIU, Alessandra Regina⁴

REVERTE, Carlos Henrique Costa *et al.* **Avaliação da eficiência de óleos essenciais de *Piper arboreum* e *Piper fuligineum* com mecanismo de contato para o controle de lepidópteros-praga da cultura da soja.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 10, Ed. 08, Vol. 02, pp. 53-83. Agosto de 2025. ISSN:2448-0959. Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/biologia/oleos-essenciais>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/biologia/oleos-essenciais

RESUMO

Os lepidópteros-praga, especialmente 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 de contato dos óleos extraídos de *P. 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%) e comparados com o inseticida comercial Ampligo® e controles negativos (água e Tween®), utilizando GLM's e testes de Tukey para a análise dos dados. Os resultados demonstraram que, para *S. frugiperda*, a concentração de 4% de ambos os extratos provocou uma mortalidade de 86,67%, superando o controle positivo, enquanto em *S. cosmioides* as concentrações testadas foram equivalentes ao inseticida comercial, e em *S. eridania* foram observadas altas taxas letais com 0,25% de *P. arboreum* e com 1 e 4% de *P. fuligineum*, conforme evidenciado pelas curvas de sobrevivência e pelas estimativas de CL50 e CL90, enquanto a ausência de efeito letal em 2 % não pôde ser explicada pelos dados disponíveis. Além do efeito larvicida, os tratamentos ocasionaram alterações



subletais, como a formação de placas necróticas, interferência na ecdise e redução do peso das pupas, comprometendo o desenvolvimento e a vitalidade dos indivíduos sobreviventes. A discussão enfatiza a ação sinérgica dos terpenos presentes, que atuam diretamente sobre as membranas celulares e os sistemas fisiológicos das lagartas, evidenciando o potencial desses extratos como alternativa viável para o manejo integrado e sustentável das pragas, e justificando a necessidade de pesquisas futuras para a aplicação em campo e para a análise dos efeitos dos componentes isolados.

Palavras-chave: Biopesticidas, Extratos Vegetais, Agricultura Sustentável, Terpenos, Manejo Biológico.

1. INTRODUÇÃO

A cultura da soja no Brasil é extremamente importante, impulsionando a economia nacional, gerando empregos e promovendo avanços tecnológicos no campo (Ferrarini, 2021). A soja ainda sustenta uma cadeia produtiva ampla, da produção de farelo e óleo ao biodiesel, movimentando cerca de US\$60 bilhões por ano e gerando milhões de empregos diretos e indiretos (Magalhães *et al.*, 2020). A safra de soja 2024/25 está estimada em 166,33 milhões de toneladas, o que representa um crescimento de cerca de 18,61 milhões de toneladas em comparação com a safra anterior, que sofrerá redução por conta de estiagens (CONAB, 2025). A produtividade média projetada é de 3.509 kg/ha, ante 3.201 kg/ha em 2023/24, com uma recuperação significativa atribuída à recuperação das condições climáticas (CONAB, 2025).

Essas plantas são atacadas por uma série de pragas, como lepidópteros do complexo *Spodoptera*, que têm apresentado um alto potencial danoso na cultura com grandes perdas (Picanço *et al.*, 2023). Graças à sua 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).

Usualmente, o controle dessas pragas desfolhadoras é realizado por meio de inseticidas neurotóxicos, como organofosforados, carbamatos e piretroides, que atuam inibindo a enzima acetilcolinesterase ou modulando canais de sódio de



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, para alcançar mortalidades satisfatórias; entretanto, o uso intensivo tem favorecido o desenvolvimento de resistência em muitas populações de *S. frugiperda* (Mian *et al.*, 2022).

Um dos problemas associados a esses inseticidas é que apesar de altas mortalidades iniciais, o manejo em campo leva a aplicações repetidas que exercem pressões seletivas que reduzem o controle a longo prazo, demandando rotações com inseticidas de diferentes modos de ação (Paredes-Sánchez *et al.*, 2021). Além disso, ex desenvolvimento larval e a fecundidade, mas também induzir a atividade de enzimas de detoxificação e promover cruzamentos de resistência, evidenciando a necessidade de estratégias integradas de manejo, abrindo a necessidade de explorar novas alternativas de controle (Chen *et al.*, 2023).

As oleos essenciais, misturas complexas de terpenos, fenilpropanóides e outros metabólitos secundários, têm ganhado destaque como bioinseticidas promissores por aliarem alta atividade entomotóxica à baixa persistência ambiental e menor risco de resistência por parte das pragas. Em particular, 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 ainda se destacam 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 de controle populacional de insetos pragas, óleos essenciais de Piperáceas têm se destacado como uma importante estratégia de controle, tendo em vista que eles possuem diversos mecanismos de ação sobre esses insetos (Corrêa; Salgado, 2011). Duas espécies, *Piper arboreum* e *Piper fuliginum*, já são conhecidas por terem efeito inseticida contra lepidópteros da família Noctuidae



(Krinski *et al.*, 2018; Pinheiro *et al.*, 2022). Por isso, esse capítulo buscou identificar os efeitos de 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. MATERIAL E MÉTODOS

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

Para o início das criações em laboratório, foram selecionadas as espécies *S. frugiperda*, *S. cosmioides* e *S. eridania*, representantes da família Noctuidae e que constituem importantes pragas da soja, principal cultura da região de estudo (Ávila; Santos, 2018; Oliveira *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2005). 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. A criação apresentou parâmetros físicos controlados em todas as fases de desenvolvimento dos insetos, com temperatura de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$, umidade relativa do ar em $75 \pm 5\%$ e fotófase 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) (receita completa identificada 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, processo realizado dentro da câmara de fluxo esterilizada. 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.

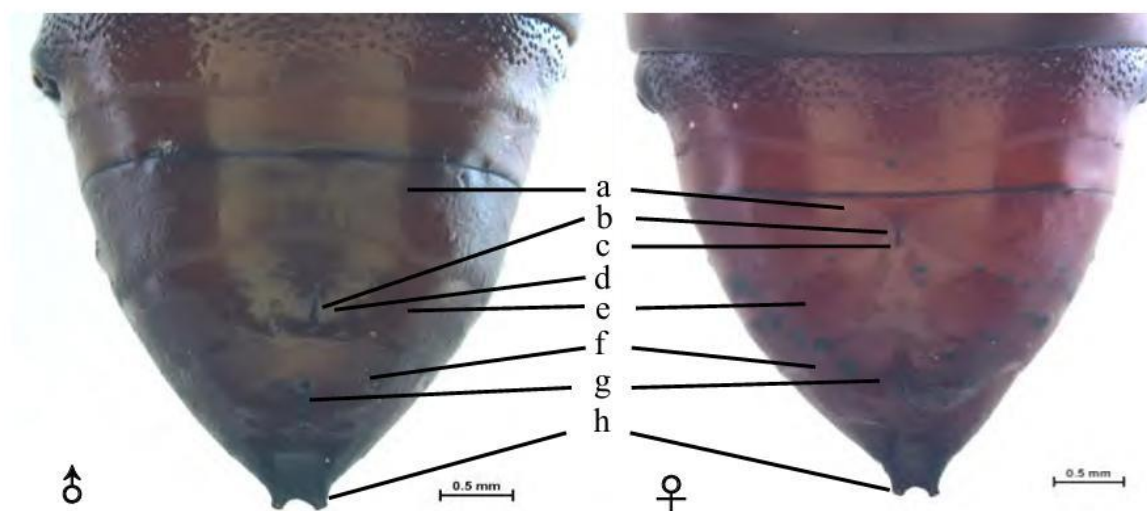
Tabela 1. Protocolo de dieta utilizada para criação de lepidópteros-praga do gênero *Spodoptera*

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 das lagartas, elas foram removidas dos tubos e higienizadas com uma solução de sulfato de cobre (CuSO_4) a 1% e água esterilizada (H_2O), onde as pupas foram deixadas por 1 minuto. Após serem secas, estas foram sexadas com base na metodologia proposta por Qianjin *et al.* (2019) (Figura 1).

Figura 1. Indicação da diferença sexual usada para sexagem de *Spodoptera* sp. Letras significam: a: O 8o segmento abdominal; b: Gonóporo; c: Buracos de oviposição; d: Estrumas semicirculares; e: O 9o segmento abdominal; f: O 10o segmento abdominal; g: Ânus; h: Espinho da anca



Fonte: Qianjin *et al.* (2019).

Próximo ao período de emergência das pupas em cada uma das espécies, esses indivíduos eram colocados em gaiolas feitas de PVC (20cm diâmetro e 20cm de altura) fechadas no topo com voil para permitir a ventilação. Essas gaiolas foram revestidas internamente com papel para garantir que os ovos fossem depositados em uma superfície de fácil remoção. As pupas foram adicionadas de modo a promover uma razão sexual de 50%. Após a emergência, esses adultos foram alimentados com uma solução feita com mel a 10% e água. A cada dois dias foram realizadas manutenções das gaiolas, trocando os forros internos para remoção de ovos e fezes, e ainda foi realizada a troca da dieta.

As plantas utilizadas para a extração dos óleos essenciais são representantes da família Piperaceae e foram *P. arboreum* e *P. fuligineum*. Todo o material coletado foi obtido no município de Tangará da Serra em uma área de transição Amazônia-Cerrado (Figura 2). A identificação taxonômica dos indivíduos 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 das espécies foram armazenadas no Herbário TANG pertencente a Universidade do Estado de Mato Grosso no *campus* de Tangará da Serra.

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 com liquidificador e acondicionadas em um balão volumétrico de 2L contendo 1L de água destilada (Figura 2).

Figura 2. Aparelho de Clevenger promovendo a hidrodestilação *Piper arboreum* e *Piper fuligineum*



Fonte: Autor (2025).



O método escolhido foi a hidrodestilação, realizada com um aparelho tipo Clevenger (Sartor, 2009). Os balões volumétricos com o material vegetal foram acondicionados em mantas aquecedoras, onde permaneceram durante quatro horas para a extração dos OE's. Subsequentemente, os OE's obtidos foram acondicionados em microtubos de 1,5 µL e guardados em congelador (-18oC) até o momento das análises químicas e posterior utilização nos bioensaios.

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% dimetilpolisiloxano. O hélio foi usado como gás de arraste a uma taxa de fluxo de 1,0ml 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 minutos 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.

Para a determinação do potencial larvicida foi selecionado um delineamento inteiramente casualizado (DIC), contendo sete tratamentos, sendo cinco concentrações de OE's 0,25; 0,50; 1; 2; e 4%, diluídos em Tween®. O controle positivo



selecionado 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 contendo em cada um deles 1 pote plástico de 145ml contendo apenas uma lagarta de *Spodoptera sp.*, em terceiro instar, como proposto por Parra e Carvalho (1984). O bioensaio consistiu na aplicação 1,0µL de cada concentração na parte protorácica dos insetos.

Para avaliação dos critérios de mortalidade, foi considerado 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.

Também foram avaliados o número de indivíduos que conseguiram empupar, o peso das pupas, o número de dias até a pupação das larvas, o número de dias até emergência dos adultos, o número de adultos emergidos. Os parâmetros subletais foram comparados com parâmetros da literatura (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros biológicos do desenvolvimento das espécies de lepidópteros-praga utilizadas para o teste dos OE'S de *Piper fuligineum*

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 cosmioidea</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.* (2025); 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).



Para análise dos dados, os tratamentos foram comparados utilizando de Modelos Lineares Generalizados (GLM's) com 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 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 obtidos 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. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise da cromatografia dos OEs de *P. arboreum* e *P. fuligineum* revelou que as espécies possuem 37 e 30 componentes, respectivamente. Desses, 17 são compartilhados entre si, sendo 20 componentes exclusivos em *P. arboreum* e 13 em *P. fuligineum*. 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%). Enquanto em *P. fuligineum* foram: neo-intermedeol (10,00%), α -selineno (8,02%), germacreno D (6,62%), (E)-cariofileno (6,48%) e β -selineno (6,18%). Os compostos denominados de sesquiterpenos hidrocarbonetos foram os mais abundantes nas análises cromatográficas dos OE's analisados.

Os OE's de ambas as espécies acarretaram a mortalidade de lagartas das três espécies avaliadas (Tabela 3). Em *S. frugiperda*, o tratamento foi significativo

($x^2=164,258$; $p<0,001$), sem diferença entre óleos ($x^2=0,012$; $p=0,913$). As mortalidades registradas variaram de 36,7% (1% de *P. arboreum*) a 86,7% (4% de *P. fuligineum*), o controle positivo teve mortalidade entre 60 e 70% (Tabela 3). Em *S. cosmioides*, houve efeito do tratamento ($x^2=203,231$; $p<0,001$) e do óleo ($x^2=7,821$; $p=0,005$). As mortalidades variaram de 40,0% (0,25% de *P. arboreum*) a 90,0% (2 % de *P. fuligineum*), com 100 % no controle positivo. Em *S. eridania*, apenas o tratamento foi significativo ($x^2= 203,340$; $p<0,001$), sem diferença entre óleos ($x^2=0,320$; $p=0,571$) (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. cosmioides</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

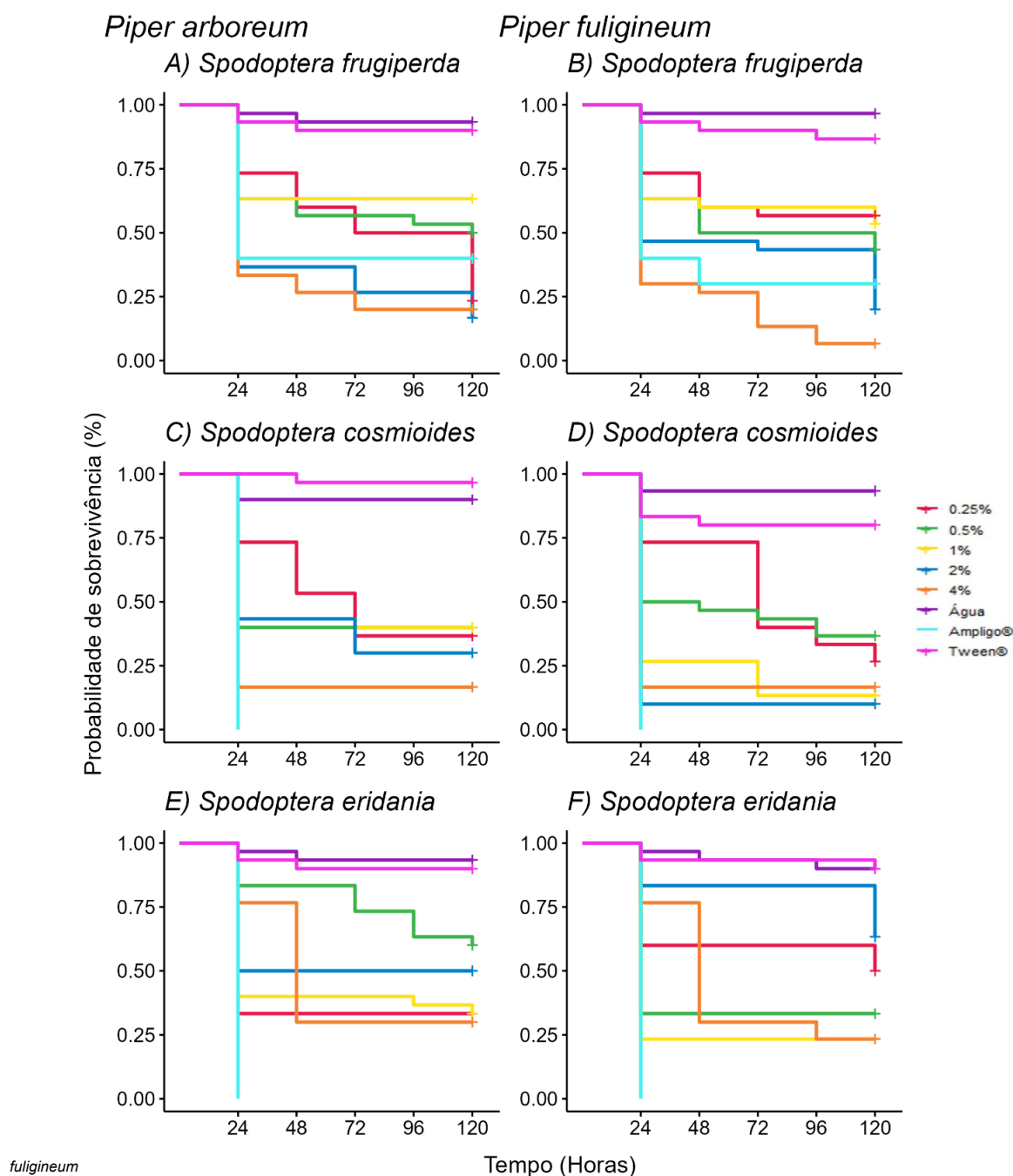
* Letras diferentes em maiúsculas nas colunas representam diferenças entre os tratamentos e minúsculas nas linhas representam diferença significativa entre os óleos essenciais de *Piper* analisadas, utilizando no teste de Tukey com significância de 5%.

Fonte: Autor (2025).



A análise de sobrevivência baseada nas Curvas de Kaplan-Meier condiz com os resultados encontrados para as espécies de lepidópteros e os OE's (Figura 5). Para *S. frugiperda*, os OE's apresentaram diferença significativa para *P. arboreum* ($\chi^2=75,40$; $p<0,001$) e para *P. fuligineum* ($\chi^2=84,7$; $p<0,001$). Para essa espécie o Ampligo® não matou 100% em nenhum dos bioensaios. Para *S. cosmioides*, houve efeito significativo da aplicação dos OE's de *P. arboreum* ($\chi^2=92,10$; $p<0,001$) e *P. fuligineum* ($\chi^2=116$; $p<0,001$). Em *S. eridania* também houve efeito significativo dos OE's de *P. arboreum* ($\chi^2=98,50$; $p<0,001$) e *P. fuligineum* ($\chi^2=109,00$; $p<0,001$). Para essas duas últimas espécies esse efeito é fortemente influenciado pelo controle positivo que causou mortalidades de 100% em poucas horas de aplicação, conforme apresentado na figura 3.

Figura 3. 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*



Fonte: Autor (2025).

As concentrações letais para 50% da população (CL50) demonstram que em geral concentrações inferiores a 1% dos óleos apresentam um bom desempenho de mortalidade dos lepidópteros analisados (Tabela 4). Em *S. frugiperda*, as concentrações representam mortalidades mais uniformes, apresentando taxas da CL90 menores que 10%. Para *S. cosmioides*, o OE de *P. fuligineum* apresenta CL90 de 2,964%, a menor identificada, enquanto para *P. arboreum*, a CL90 é de 35,365, entretanto *S. eridania* requer 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.

Fonte: Autor (2025).

A aplicação tópica apresentou efeitos similares nas espécies de lagartas. Em um primeiro momento, o produto levou a uma agitação das lagartas, posteriormente verificamos o escurecimento do tegumento. A formação de placas necróticas em *S. frugiperda*, *S. cosmioides*, e *S. eridania* evidencia a penetração cuticular dos OEs.

As análises detectaram efeitos sub letais provocados pelo uso dos OE's (Tabela 3). Para *S. frugiperda*, a análise mostrou efeito altamente significativo dos tratamentos sobre a viabilidade larval ($\chi^2=1558,82$; $p<0,001$), mas não da espécie do OE ($\chi^2=2,39$; $p=0,122$). A fase larval permaneceu em torno de 12–14 dias sob todos os tratamentos



com óleos, enquanto os controles negativos prolongaram o desenvolvimento. As mortes na transição pré-pupal ocorreram exclusivamente 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, e o peso das pupas mostrou efeito significativo tanto dos tratamentos ($F=99,31$; $p<0,001$) quanto da espécie do óleo ($F=17,36$; $p<0,001$), sendo maior em *P. arboreum*.

No caso de *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 na fase larval. Nessa espécie, a duração desse período variou 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 em 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 modificado pelo tratamento ($F=34,45$; $p<0,001$), com efeito marginal de óleo ($F=3,30$; $p=0,071$), ficando entre 0,16 e 0,21 g.

Já 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 ($F = 3,61$; $p = 0,002$), e a espécie de óleo também teve impacto sobre a fase larval ($\chi^2 = 7,66$; $p = 0,006$) e sobre o peso pupal ($F = 7,15$; $p = 0,008$). A duração larval e pupal permaneceram estáveis em torno de 12 a 14 dias, sem mortes na transição pré-pupal em nenhum tratamento. O peso médio das pupas variou entre 0,11 g e 0,28 g, sendo menor nos controles negativos.

Observa-se que, esse estudo recorreu a análise dos componentes dos OE's de *P. arboreum* e *P. fuligineum* proposta por Rezende (2024) por conta de representarem indivíduos que foram coletados nas mesmas localidades, compreendendo uma mesma população. Os OE's em geral apresentam uma grande predominância de sesquiterpenos. No caso de *P. arboreum*, esses são os tipos mais presentes no OE, sendo evidenciada a presença de biciclogermacreno, germacreno D e óxido de cariofileno, que, embora similares aos relatados em estudos anteriores, apresentam



variações quantitativas apresentando valores variando entre 12% a 28% (Potzerheim *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2014). Já no caso de *P. fuligineum*, seu perfil possui uma composição com menor dominância de sesquiterpenos, apresentando monoterpenos e fenilpropanóides. Já Mazzeu *et al.* (2018) enfatizaram a presença de kavalactonas e derivados do ácido benzóico nessa espécie, juntamente com α - pineno, (E)-cariofileno e outros fenilpropanóides, sugerindo a possível existência de quimiotipos distintos ou influências regionais na composição do OE. Essa divergência ressalta que, embora haja um padrão geral na predominância de sesquiterpenos em *P. arboreum*, a composição de *P. fuligineum* pode variar significativamente entre estudos, refletindo a complexidade do metabolismo secundário nessa família, identificada por Krinski *et al.* (2018).

Dos componentes presentes dentro dos OE's os sesquiterpenos representam a maior parte dos componentes em ambas as espécies, assim como o equivalente de exemplares encontrados na Mata Atlântica (Potzernheim *et al.*, 2006). Esses compostos são sintetizados via farnesil pirofosfato (FPP) em muitas plantas, incluindo espécies de *Piper*, e frequentemente sofrem modificações como oxidações, gerando sesquiterpenos com funcionalidades variadas (Awouafack *et al.*, 2013; Costa, 2015; Mazzeu, 2014). Devido ao seu maior número de átomos de carbono, os sesquiterpenos tendem a ser mais pesados e menos voláteis que monoterpenos, conferindo estabilidade maior em formulações de OE's (Grassmann; Elstner, 2003).

Esses componentes em específico, tem sido os destacados como principais agentes causadores dos efeitos tóxicos em insetos (Dutra, 2018). Sesquiterpenos isolados, como biciclogermacreno, germacreno D e β -cariofileno, exibem atividade inseticida significativa contra pragas agrícolas, promovendo mortalidade direta em larvas de insetos (Alarcon *et al.*, 2013). Dutra (2018) também identificou a presença de componentes dos OE's que possuem ação sinérgica, demonstrando que combinações binárias de terpenos α -felandreno, presentes apenas em *P. arboreum* e α -pineno e β -pineno, compartilhada por ambas, são os que apresentaram maior toxicidade para *S. frugiperda*. Misturas de terpenos em óleos essenciais frequentemente apresentam toxicidade superior aos componentes isolados, devido a



efeitos sinérgicos que potencializam a penetração cuticular e sobrecarregam mecanismos de detoxificação dos insetos, como Scalerandi *et al.* (2018) detectaram para *Musca* doméstica. Esses efeitos sugerem que esses componentes dos OE's podem possuir ação isolada, embora seu elevado potencial esteja relacionado a sua ação sinérgica entre os componentes (Dutra, 2018).

Os terpenóides predominantes nos óleos essenciais de Piper (bicyclogermacreno, germacreno D e (E)-cariofileno) têm afinidade com as bicamadas lipídicas da cutícula e das membranas celulares dos insetos, promovendo sua desorganização e aumento da permeabilidade. Além disso, diversos estudos apontam que esses compostos 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 de ruptura física, bloqueio metabólico e neurotoxicidade explica a letalidade rápida e a ocorrência de placas necróticas observadas após aplicações tópicas (Côrrea; Salgado, 2011).

Os resultados identificados neste trabalho ajudam a entender melhor a capacidade dos óleos essenciais de *P. arboreum* e *P. fuliginum* e seus efeitos larvicidas sobre lepidópteros-praga do complexo *Spodoptera*. Os OE's demonstraram efeito larvicida significativo, com eficiência variável entre as espécies e concentrações testadas. Para *S. frugiperda*, as concentrações de 2% e 4% resultaram em maior mortalidade em ambas as espécies de Piper avaliadas. No caso de *S. cosmioides*, as concentrações não diferiram entre os OE's. Em *S. eridania*, apenas a concentração de 0,25% de *P. arboreum* apresentou mortalidade semelhante à do controle, enquanto as concentrações de 0,25% a 1% e 4% não diferiram estatisticamente do controle.

Em estudos com espécies de *P. tuberculatum* e seu efeito sobre *S. frugiperda*, ela causou 90% de mortalidade em 0,1850 mg/μL (0,0185%) de óleo em 24–48 h, evidenciando a força inseticida de sesquiterpenos predominantes nesse gênero (Soberón-Risco *et al.*, 2012). Ainda, em avaliações de composições ricas em dillapiol e outros fenilpropanóides de Piper amazônicos, identificou-se mortalidades superiores



a 70% em concentrações de 0,5– 2,0% (Rodrigues *et al.*, 2021). Os principais sesquiterpenos — biciclogermacreno, germacreno D, (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 do que concentrações mais baixas ou muito altas, que segundo Garrido-Miranda *et al.* (2022) podem levar a saturação de receptores ou volatilização excessiva do óleo.

Aplicações tópicas têm sido destaque em estudos com OE's, tendo em vista que sistemas de monocultura com aplicações mecanizadas tendem a optar por produtos que apresentem efeito de choque (Sombra *et al.*, 2020). Os dados identificados revelam que os OE's tanto de *P. fuliginum*, quanto de *P. arboreum* demonstram potencial para serem utilizados dessa forma, na medida em que em geral foram similares em efetividade ao controle positivo, o inseticida Ampligo®.

Esses OE's já são conhecidos por terem efeito larvicida para espécies de lepidópteros (Krinski *et al.*, 2018). Celis *et al.* (2014) identificaram que os óleos essenciais de quatro espécies de piperáceas (*Piper el-bancoanum*, *Piper arboreum*, *Piper peltatum*, e *Piper submentosum*) foram eficientes para o controle dessa espécie, embora *P. arboreum* tenha controlado mais essa praga. Pinheiro *et al.* (2022), por exemplo, identificaram um efeito ovicida forte de OE's de *P. fuliginum* sobre essa espécie, ressaltando especificamente a efetividade de concentrações superiores a 1%, o que indica que essas concentrações além de serem eficientes para o controle das lagartas ainda podem ajudar a controlar os ovos. Embora, nesses casos, eles apresentem uma dificuldade específica graças ao comportamento de *S. frugiperda* em proteger sua prole, colocando os ovos em camadas e cobrindo-os com escamas soltas, que conferem a esses ovos menor potencial de dessecação e garantem uma barreira mecânica contra inseticidas químicos (Barros *et al.*, 2010; Rosa; Barcelos, 2012).



Surfactantes como Tween® 80 diminuem a tensão superficial e melhoram o espalhamento do óleo sobre a cutícula, aumentando o contato direto dos monoterpenos e sesquiterpenos com as camadas cerosas do inseto (Cruz *et al.*, 2022). Nanoemulsões com diâmetros de gotícula inferiores a 100 nm ampliam significativamente a área de superfície e facilitam a difusão dos constituintes lipofílicos através dos poros cuticulares; em formulações de *P. aduncum*, partículas de ~97 nm proporcionaram 82,3% de mortalidade em *S. frugiperda* a 0,56% de concentração (Abd-Elnabi *et al.*, 2025). Além disso, sistemas nano emulsificados demonstram maior estabilidade térmica e resistência à degradação ambiental, bem como potencializam efeitos sinérgicos entre terpenos ao sobrecarregar mecanismos de detoxificação dos insetos (Abd-Elnabi *et al.*, 2025).

Outros piperaceae também apresentam potencial de controle de lagartas, como *Piper aduncum*, que testada por Sanini *et al.* (2017) detectaram que essa espécie apresentou potencial para controle da lagarta da soja (*Chrysodeixis includens* Walker), embora essa apresente concentrações letais altas para aplicação tópica. 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, onde são carregados 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. Esses problemas levam a questões de deformações de pupas



que promovem deficiências gerais nos insetos, inclusive malformações em adultos (o que não foi investigado neste trabalho), esse efeito foi detectado por Araújo (2009) em *S. cosmíodes*.

A letalidade comprovada dos óleos essenciais deve ter sua análise complementada também entendendo seus efeitos subletais as 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 às 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. cosmíodes*, os efeitos subletais ficaram evidentes na modulação do ciclo de desenvolvimento. Comparando com os dados basais, os tratamentos prolongaram o tempo larval e reduziram o peso 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 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 as fêmeas a colocarem menos ovos e os machos a terem uma queda na produção de espermatozoides, ressaltando ainda mais esses efeitos dos OE's (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 neste 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).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo indicam que os óleos essenciais de *P. fuligineum* e *P. arboreum* possuem efeitos letais e subletais sobre as larvas de *S. frugiperda* e *S. cosmioides*. No entanto, os dados para *S. eridania* sugerem que *P. arboreum* não apresenta efeitos letais significativos, enquanto *P. fuligineum* apresenta efeitos letais e subletais.

O trabalho ainda indica que, futuramente, pode-se investir em pesquisas visando entender não apenas os efeitos dos OE's, mas de seus componentes individuais, buscando encontrar moléculas bioativas e com potencial de patente e de utilização unitária ou em formulações para controle de lepidópteros-praga.

Os resultados identificados contribuem para uma melhor compreensão da eficiência desses óleos essenciais no controle de lepidópteros-praga, por meio desse método, e abrem espaço para novas pesquisas que compreendam melhor a ação e aplicabilidade dos OE's dentro do manejo integrado de pragas.

REFERÊNCIAS

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.

AWOUEAFACK, M. D. *et al.* Sesquiterpenes from the Medicinal Plants of Africa. In: AWOUEAFACK, 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.

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 Agrônômico do CCAAB/UFRB, v. 1, n. 2254, p. 1-9, 2023. Disponível em: https://ufrb.edu.br/ccaab/images/boletimcientificoagronomico/Volume_1/ARTIGOS/Poten%20cial_fit%20qu%20m%20dos_%20%20leos_essenciais__explora%20%20a%20e_aplica%20%20es.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 *P.iper 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.ufrpe.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.ufrpe.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, Erebidæ) 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. 5-10. 2018. Disponível em: 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.

MAGALHÃES, P. C. *et al.* Desenvolvimento do milho segunda safra: fatores genético-fisiológicos, plataforma de conhecimento e práticas de manejo de cultivo e uso, visando sustentabilidade de produção e produtividade no binômio soja/milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. Disponível em: [https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1128757/1/Documento s- 258.pdf](https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1128757/1/Documento%20s-258.pdf). Acesso: 20 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 parasitóide 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 fuligineum* 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 fuligineum* 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.

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 fuligineum* (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.

Material recebido: 08 de julho de 2025.

Material aprovado pelos pares: 09 de julho de 2025.

Material editado aprovado pelos autores: 21 de agosto de 2025.

¹ Mestrando em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola. Graduação em Gestão Ambiental. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1833-6276>. Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3710061389597391>.

² Mestre em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola. Licenciado e Bacharelado em Ciências Biológicas. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7384-5341>.

³ Doutor em Zoologia. Mestre em Ecologia e Conservação da Biodiversidade. Licenciado e Bacharelado em Ciências biológicas. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4719-5314>. Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9473229586446780>.

⁴ Orientadora. Doutorado em Agronomia. Mestrado em Zoologia. Graduação em Ciências Biológicas. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8682-3267>. Currículo Lattes: <https://orcid.org/0000-0001-8682-3267>.