

AVALIAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE PARÂMETROS DE *Neoleucinodes elegantalis* (GUENÉE) (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) E EM *Trichogramma pretiosum* RILEY (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE)

por

CAMILA SANTOS TEIXEIRA

(Sob Orientação do Professor Valéria Wanderley Teixeira - UFRPE)

RESUMO

O controle químico é o método preferencialmente utilizado na praga-chave do tomateiro *Neoleucinodes elegantalis*, contudo sua eficiência não tem sido satisfatória e seu uso indiscriminado tem ocasionado aumento dos custos de produção. Os óleos essenciais surgem como alternativa promissora, e sua associação ao controle biológico, a exemplo da utilização do parasitoide *Trichogramma pretiosum*, pode potencializar seus resultados, sendo uma opção a ser considerada. Assim, essa pesquisa objetivou analisar os efeitos dos óleos de *Origanum majorana* e *Copaifera officinalis* sobre a fisiologia de *N. elegantalis* por meio da histologia e histoquímica das gônadas comparando com produtos formulados comerciais (azadiractina e deltametrina) e o efeito da associação dos óleos essenciais de *Amyris balsamifera* e *Pelargonium graveolens* com *T. pretiosum*, por meio da biologia e resposta funcional e sua toxicidade à praga, em comparação com os produtos formulados azadiractina e deltametrina, além de fazer a cromatografia dos referidos óleos. Todos os óleos testados apresentaram-se majoritariamente constituídos por terpenos. O óleo de *O. majorana*, apresentou maior toxicidade comparado a *C. officinalis* e demonstrou melhor desempenho por alterar parâmetros importantes na fisiologia e histoquímica

das gônadas desta praga, ocasionando nos ovários, redução de vitelo e de proteínas totais; e nos testículos, redução de esperma, carboidratos e proteínas. Para a associação dos métodos, o óleo de *P. graveolens* com o *T. pretiosum*, foi o que apresentou melhor resultado, com maior toxicidade a praga. Para o parasitoide, este óleo apresentou-se, quanto a seletividade, como levemente nocivo, não comprometendo sua performance, além de promover uma resposta funcional do tipo II. Com isso, a utilização de óleos bem como sua associação com *T. pretiosum* no controle de *N. elegantalis*, torna-se uma interessante ferramenta em programas de manejo integrado de pragas (MIP).

PALAVRAS-CHAVE: tomate, fisiologia, parasitoide, broca-pequena-do-tomate, curva resposta.

EVALUATION OF ESSENTIAL OILS ON PARAMETERS OF *Neoleucinodes elegantalis*
(GUENÉE) (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) AND IN *Trichogramma pretiosum* RILEY
(HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE)

por

CAMILA SANTOS TEIXEIRA

(Under the Direction of Professor Valéria Wanderley Teixeira)

ABSTRACT

Chemical control is the method used preferentially for the key tomato pest *Neoleucinodes elegantalis*, but its efficiency has not been satisfactory and its use has led to an increase in production costs. Essential oils appear as a promising alternative, and their association with biological control, such as the use of the parasitoid *Trichogramma pretiosum*, can enhance its results, being an option to be considered. Thus, this research aimed to analyze the effects of *Origanum majorana* and *Copaifera officinalis* oils on the physiology of *N. elegantalis* through the histology and histochemistry of the gonads, comparing with commercial formulated products (azadirachtin and deltamethrin) and the effect of the association of essential oils of *Amyris balsamifera* and *Pelargonium graveolens* with *T. pretiosum*, through biology and functional response and their toxicity to the pest, in comparison with the formulated products azadirachtin and deltamethrin, in addition to chromatography of the aforementioned oils. All oils tested were mostly made up of terpenes. *Origanum majorana* oil presented greater toxicity compared to *C. officinalis* and demonstrated better performance in altering important parameters in the physiology and histochemistry of the gonads of this pest, causing a reduction in yolk and total proteins in the ovaries; and in the testicles, reduction of sperm, carbohydrates and proteins. For

the combination of methods, *P. graveolens* oil with *T. pretiosum* was the one that showed the best results, with greater toxicity to the pest. For the parasitoid, this oil appeared, in terms of selectivity, to be slightly harmful, not compromising its performance, in addition to promoting a type II functional response. Therefore, the use of oils and their association with *T. pretiosum* to control *N. elegantalis* becomes an interesting tool in integrated management practices (IPM) programs.

KEY WORDS: tomato, physiology, parasitoid, tomato borer, response curve.

AVALIAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE PARÂMETROS DE *Neoleucinodes
elegantalis* (GUENÉE) (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) E EM *Trichogramma pretiosum*
RILEY (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE)

por

CAMILA SANTOS TEIXEIRA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Entomologia, da Universidade Federal Rural
de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Entomologia.

RECIFE - PE

Fevereiro – 2024

AVALIAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE PARÂMETROS DE *Neoleucinodes
elegantalis* (GUENÉE) (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) E EM *Trichogramma pretiosum*
RILEY (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE)

por

CAMILA SANTOS TEIXEIRA

Comitê de Orientação:

Valéria Wanderley Teixeira – UFRPE

Glaucilane dos Santos Cruz – UFRPE

AVALIAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE PARÂMETROS DE *Neoleucinodes
elegantalis* (GUENÉE) (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) E EM *Trichogramma pretiosum*
RILEY (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE)

por

CAMILA SANTOS TEIXEIRA

Banca Examinadora:

Glaucilane dos Santos Cruz - UFRPE

José Wagner da Silva Melo – UFPE

Daniela Maria do Amaral Ferraz Navarro – UFPE

Andrezo Adenilton Santos – UFRPE

Camila Santos Teixeira
Doutor em Entomologia

Prof^a. Valéria Wanderley Teixeira –
UFRPE
Orientador

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

T266a Teixeira, Camila Santos
Avaliação de óleos essenciais sobre parâmetros de *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae) e em *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) / Camila Santos Teixeira. - 2024.
108 f. : il.

Orientadora: Valeria Wanderley Teixeira.
Coorientadora: Glaucilane dos Santos Cruz.
Inclui referências.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Entomologia Agrícola, Recife, 2024.

1. Tomate. 2. Fisiologia. 3. Parasitoide. 4. Broca-pequena-do-tomate. 5. Curva resposta. I. Teixeira, Valeria Wanderley, orient. II. Cruz, Glaucilane dos Santos, coorient. III. Título

CDD 632.7

DEDICATÓRIA

A Deus.

Aos meus pais, Alecimar e Maria Neuma.

A minha irmã Lais.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser meu sustento e meu abrigo em todos os momentos, por seu amor e cuidado.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e ao Programa de Pós-graduação em Entomologia (PPGE).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

À minha Orientadora, Prof^a. Valéria Wanderley Teixeira, pela orientação, confiança, dedicação e paciência.

À minha Co-orientadora, Glaucilane dos Santos Cruz por seus ensinamentos, conselhos e amizade fundamentais para conclusão deste trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Entomologia, pelo conhecimento transmitido.

Aos meus pais, Alecimar Teixeira e Maria Neuma da Silva Santos Teixeira por todo amor incondicional, pelo apoio e orações, por sempre acreditar e incentivar meus sonhos, por serem minha base.

A minha irmã Lais Santos Teixeira, por seu amor maior, pelos conselhos, por sempre me ouvir quando preciso, por todo seu apoio.

Às minhas amigas do Laboratório de Fisiologia de Insetos (LAFI): Carol, Catiane, Clara, Nane e Milena, pela amizade, apoio e momentos de descontração.

Aos amigos do PPGE, pelos momentos compartilhados, em especial à: Andrezo, Larissa, Carla, André, Sara, Felipe, Vitor, Wesley e Sebastián.

Aos meus amigos do Castelo dos Estudantes: Randerson, Paulo, Aline, Clarissa, Leandra, Beatriz, Lídia, Pedro, Júlio, Elton, Ianne, Yara, Gutierrez, Dona Jô, Dona Nena, Seu Ivo, Dona Diná, Dona Marta, por se tornarem família e por tonar este o melhor lugar que eu poderia morar. Levarei vocês para sempre em meu coração!

A todos que de alguma forma contribuíram para este trabalho, muito obrigada!

SUMÁRIO

	Página
AGRADECIMENTOS	ix
CAPÍTULOS	
1 INTRODUÇÃO	1
LITERATURA CITADA.....	10
2 PROCESSO DE SELEÇÃO DE HOSPEDEIRO E FATORES QUE INFLUÊNCIAM NO SUCESSO DO PARASITISMO DE <i>Trichogramma spp.</i> (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE)	16
RESUMO	17
ABSTRACT	18
INTRODUÇÃO	19
MATERIAL E MÉTODOS	21
DISCUSSÃO.....	21
CONCLUSÃO	25
LITERATURA CITADA.....	25
3 INFLUÊNCIA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS DE <i>Origanum majorana</i> E <i>Copaifera officinalis</i> EM COMPARAÇÃO COM PRODUTOS FORMULADOS SOBRE GÔNADAS DE ADULTOS DE <i>Neoleucinodes elegantalis</i> (GUENÉE) (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE)	31
RESUMO	32
ABSTRACT	33

	INTRODUÇÃO	35
	MATERIAL E MÉTODOS	37
	RESULTADOS	41
	DISCUSSÃO.....	43
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
	AGRADECIMENTOS.....	47
	LITERATURA CITADA.....	47
4	EFEITO DE ÓLEOS ESSENCIAIS EM <i>Neoleucinodes elegantalis</i> (GUENÉE) (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) E SUA SELETIVIDADE E RESPOSTA FUNCIONAL A <i>Trichogramma pretiosum</i> (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE)	62
	RESUMO	63
	ABSTRACT	64
	INTRODUÇÃO	65
	MATERIAL E MÉTODOS	67
	RESULTADOS	73
	DISCUSSÃO.....	75
	AGRADECIMENTOS.....	79
	LITERATURA CITADA.....	79
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	95

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A cultura do tomateiro tem grande importância socioeconômica no Brasil, sendo utilizada como alimento direto ou como matéria prima para produção de processados na indústria, gerando empregos diretos e indiretos, produzido em pequenas, médias e grandes propriedades (Silva & Giordano 2006).

A safra brasileira de 2022 atingiu cerca de 3,809 milhões de toneladas com valor de produção de 8.656.263 mil reais. Em 2023 é estimado que a produção atinja 4,0 milhões de toneladas, devido a um aumento em mais de 1% do total de área plantada. As principais regiões produtoras são o Sudeste e o Centro-Oeste, apresentando 1,7 e 1,1 mi de toneladas, respectivamente, da produção no ano de 2022, destacando-se os estados de Goiás, São Paulo e Minas Gerais (IBGE 2023).

No Nordeste brasileiro, a estimativa de produção para a safra de 2022 foi de 434.598 toneladas, em uma área plantada de 9.024 hectares, destes, estima-se que o estado de Pernambuco, seja responsável por 67.154 toneladas em uma área de 1.460 hectares, com destaque os municípios de Lagoa Grande, Cedro, Floresta, Camocim de São Félix, Garanhuns e Cabrobó (IBGE 2023).

O cultivo de tomate é uma atividade agrícola com alto risco e custos envolvidos, podendo ultrapassar a casa dos cento e oitenta mil reais por hectare em alguns municípios do Brasil (CONAB 2023). Isso se deve às variações no ambiente produtivo e constante incidência de pragas e doenças, gerando perdas na produtividade, o que demanda investimento em insumos e serviços,

destacando-se o ataque de insetos-praga que depreciam o produto final: o fruto. (Picanço *et al.* 2007, Loos *et al.* 2008, Gomes *et al.* 2012).

Têm-se como principais pragas da cultura do tomateiro os insetos broqueadores como: Broca-grande-do-fruto, *Helicoverpa zea* Boddie (Lepidoptera: Noctuidae); lagarta-helicoverpa, *Helicoverpa armigera* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae); e a broca-pequena-do-tomateiro, *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae), considerada praga chave dessa cultura (Pratissoli *et al.* 2015).

Neoleucinodes elegantalis, popularmente conhecida como “broca-pequena-do-fruto” é considerada praga de importância econômica para a cultura do tomate em diversos países das Américas Central e do Sul (Gallo *et al.* 2002, Gravena & Benvenga 2003). O seu dano é direto, por se alimentar dos frutos, o que inviabiliza a sua comercialização e consumo, prejudicando também seu uso industrial de forma processada, gerando perdas de até 90% da produção e gastos com produtos fitossanitários que podem chegar a mais de vinte mil reais (Picanço *et al.* 2007, CONAB 2023).

As posturas das fêmeas são depositadas logo após o acasalamento, e preferencialmente sob as sépalas dos frutos verdes, quando estes ainda se encontram pequenos e em formação, logo após o acasalamento (Blackmer *et al.* 2001). Os ovos são arredondados e sua postura pode ser feita de forma isolada ou agrupada, possuindo coloração branca e tornando-se de tom vermelho ao marrom à medida que se aproximam do período de eclosão (Eiras & Blackmer 2003, Benvenga *et al.* 2010).

Após a eclosão das larvas, que costuma ocorrer entre as primeiras horas do dia, elas permanecem por cerca de 50 minutos sobre os frutos, podendo demorar mais de 20 minutos para perfura-los, deixando um orifício de entrada quase imperceptível, que no processo de desenvolvimento e maturação dos frutos é fechado (Muñoz *et al.* 1991, Eiras & Blackmer 2003).

Esta perfuração é caracterizada por uma pontuação pequena perceptível ao tato e ao redor é observado uma leve depressão devido à cicatrização, provocada pela morte do tecido (Muñoz *et al.* 1991, Bortoli *et al.* 2013).

Durante sua fase larval, a lagarta passa a se desenvolver no interior dos frutos por aproximadamente 15 dias, formando pequenas galerias enquanto alimentam-se do endocarpo, caracterizando seu dano, abandonando o fruto após este período estar completo, medindo cerca de 13 mm e deixando um orifício de saída, que pode servir de porta de entrada para organismos patógenos (Muñoz *et al.* 1991, Blackmer *et al.* 2001, Eiras & Blackmer 2003, Gravena & Benvenga 2003, Bortoli *et al.* 2013).

A lagarta possui coloração amarelada e a cabeça quitinizada, sendo polípoda, subtipo eruciforme e possuindo três segmentos torácicos e 10 abdominais, passando por cinco ínstares ao longo do seu desenvolvimento, apresentando coloração rosada quando se encontra no último ínstar larval (Muñoz *et al.* 1991, Gallo *et al.* 2002).

Após sair do fruto, a lagarta passa para o estágio de pré-pupa com coloração esbranquiçada, pouca mobilidade e sem atividade alimentar, passando para o período de pupa, sendo esta do tipo obtectata e medindo cerca de 11,05 e 10,33 mm, fêmeas e machos respectivamente, apresentando coloração variando de amarelo claro ao marrom (Muñoz *et al.* 1991, Gallo *et al.* 2002).

Os adultos são mariposas com 25 mm de envergadura, que apresentam dimorfismo sexual, onde as fêmeas apresentam maior peso e diferem no comprimento, sendo superior aos valores apresentados pelos machos da espécie, além de possuir abdômen volumoso e final truncado, enquanto nos machos o abdômen é delgado e a parte final é aguda e recoberta por um tufo de escamas, a razão sexual é de 1:1, com coloração branca e asas transparentes com manchas marrons pequenas (Muñoz *et al.* 1991, Carneiro *et al.* 1998, Jaffe *et al.* 2007).

Em frutos de tomate, *N. elegantalis* completa seu ciclo em aproximadamente 30 dias e longevidade média de 4,6 dias em temperaturas de 25° C e umidade relativa de 65,5%, considerado as condições ideais para seu desenvolvimento. O período de incubação é de 5,1 dias; fase larval de 15,7 dias e fase pupal de 9,3 dias. Apresenta período de pré-oviposição de 3,1 dias e oviposição de 1,8 dias (Marcano 1991). No mesmo estudo foi observado que cada fêmea possui uma média de oviposição de 26 ovos, variando entre 2 e 54 ovos. Podendo sua fecundidade média chegar a 160 ovos durante essa fase (Blackmer *et al.* 2001).

Como as lagartas penetram o fruto e iniciam seu processo de alimentação assim que eclodem, acabam por ficar pouco tempo expostas, e aliado aos custos de produção, os produtores fazem diversas aplicações de produtos fitossanitários a partir do começo da florada de modo preventivo, independente da presença da praga, objetivando evitar os prejuízos (Eiras & Blackmer 2003, Miranda *et al.* 2005).

O controle químico é o mais utilizado, inclusive como forma preventiva (Gravena & Benvenga 2003), sendo registrados para cultura do tomate 183 produtos pertencentes a grupos químicos variados, como piretróides, neonicotinóides, organofosforados, diamidas, entre outros (AGROFIT 2023). Esse uso de modo indiscriminado tem sido associado à contaminação do meio ambiente e também ao homem, além de ser responsável pelo aumento dos casos de resistência nas populações de pragas (Bass & Jones 2018).

Outro fator limitante para a eficiência de produtos químicos formulados é o hábito da praga, que permanece a maior parte de seu ciclo protegida pelo fruto enquanto se alimenta do mesmo, o que torna a fase de ovo e adultos o melhor momento para ação dos métodos de controle, limitando o tempo em que os organismos ficam expostos aos produtos, e conseqüentemente, reduzindo sua ação (Eiras & Blackmer 2003).

Devido aos problemas que ocorrem no processo de controle, diminuindo a sua eficiência e dificultada pelo hábito da praga, tem-se desenvolvido métodos em busca de produzir de maneira sustentável, além de reduzir os custos de produção para pequenos, médios e grandes produtores, o que torna cada vez mais necessário o desenvolvimento e a implantação de um Programa de Manejo Integrado de Pragas (MIP), que busca uma diversificação e integração dos métodos utilizados (Peixoto *et al.* 2017, Arcanjo *et al.* 2021, Vallejo-Cabrera 2021).

Uma alternativa que vem sendo estudada nos últimos anos são os produtos de origem botânica, como os óleos essenciais, que fazem parte do metabolismo secundário das plantas, e compõem seu sistema de defesa (Regnault-Roger *et al.* 2012, Li *et al.* 2014). Esses óleos são obtidos por meio de hidrodestilação de partes da planta, como folhas, flores, galhos e raízes, e vem ganhando destaque por demonstrar uma ampla gama de ação contra diversos tipos de artrópodes, podendo a toxicidade apresentada por estes ter relação com a presença de terpenos e fenilpropanoides (Regnault-Roger *et al.* 2012, Li *et al.* 2014, Jankowska *et al.* 2017, Marsin *et al.* 2020).

Esses produtos demonstram ser uma alternativa segura, visto que são biodegradáveis e apresentam baixa toxicidade ao ser humano quando comparado aos produtos fitossanitários comumente utilizados (Roel 2001, Pavela 2016). Além disso, pode provocar nos organismos alvos efeitos letais e subletais, como repelência, deterrência, interferir na sua fisiologia e na disponibilidade de nutrientes importantes, o que pode gerar danos que comprometam seu metabolismo, afetando o desenvolvimento e reprodução (Isman 2006, Cruz *et al.* 2016, Pavela 2016).

Sabe-se que a nutrição é fator imprescindível para o sucesso reprodutivo dos insetos, uma vez que esse processo é responsável por perpetuar a espécie, o que torna a aquisição de nutrientes na fase imatura crucial, e uma interferência na disponibilidade nutricional pode resultar em

alterações nos adultos, afetando longevidade, formação das estruturas sexuais e oviposição (Milano *et al.* 2010, Alves *et al.* 2014, Sâmia *et al.* 2016, Ataíde *et al.* 2020). Já que são utilizadas reservas de proteínas, lipídios e carboidratos adquiridos durante o estágio larval para o desenvolvimento do inseto, atuando na síntese de hormônios e enzimas, na formação das estruturas reprodutivas, na estrutura tegumentar, além de atuarem como fonte de energia (Telfer 2009, Arrese *et al.* 2010, Chapman 2013).

Os distúrbios nutricionais ocasionados pelos óleos essenciais podem influenciar na reprodução dos insetos, ocasionando redução ou inibição da gametogênese, como já observado em *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) tratada com óleos essenciais de citronela (*Cymbopogon winterianus* Jowitt ex Bor) e cravo da Índia (*Syzygium aromaticum* (L.) (Roeder & Behmer 2014, Cruz *et al.* 2015, Silva *et al.* 2016, Barragán-Fonseca *et al.* 2018).

Dentre os óleos essenciais que vem sendo estudados por apresentar efeitos adversos nos insetos, pode-se citar *Origanum majorana* L. e *Copaifera officinalis* L., que apresentaram toxicidade e afetaram o desenvolvimento de *N. elegantalis*, alteraram as taxas de proteínas e carboidratos e os teores de proteínas solúveis, glicogênio, lipídio e açúcar total, além de apresentarem efeitos subletais como a redução na quantidade de vitelo em ovários de fêmeas e queda da quantidade de esperma nos machos, o que compromete a capacidade reprodutiva da praga (Santana *et al.* 2022, Teixeira *et al.* 2022) e demonstra o potencial uso de bioinseticidas como alternativa de controle.

Outros óleos que merecem destaque para o manejo de insetos praga, são os de *Amyris balsamifera* L. e *Pelargonium graveolens* L., que apresentaram efeitos promissores, com atividade inseticida e repelente para diversas pragas (Carroll *et al.* 2010, Park & Park 2012, Ali *et al.* 2019), o que sugere seu potencial como alternativa a ser considerada para controle da broca-pequena-do-tomateiro.

A manjerona (*O. majorana*) é uma planta medicinal e aromática da família Lamiaceae, cultivada em diversas partes do mundo, caracterizada por apresentar aroma agradável e sabor permitindo seu uso na culinária e em perfumes. Seu óleo essencial apresenta atividade inseticida e repelente (Kakouri *et al.* 2022). Outra planta que tem propriedades conhecidas é *C. officinalis* pertencente à família Leguminosae, encontrada em florestas tropicais no Brasil, que tem o óleo essencial obtido a partir da sua resina aplicado na indústria alimentícia e de fármacos, sendo alternativa como agente terapêutico por suas propriedades antiviral, antisséptica e analgésica (Trindade *et al.* 2018, Arruda *et al.* 2019, Debone *et al.* 2019).

Amyris balsamifera, da família Rutaceae, originária do Haiti, com aroma de sândalo; seu óleo é utilizado para produção de cosméticos e itens de higiene e vem sendo alvo de estudos sobre suas propriedades biológicas, como por exemplo, a atividade antimicrobiana (Jirovetz *et al.* 2006). O gerânio (*P. graveolens*), da família Geraniaceae, originário da África do Sul, é conhecido por seu aroma característico doce e quente que lembra o perfume de rosas. Seu óleo essencial é utilizado na produção de cosméticos, e tem sido estudada por suas propriedades antibacterianas, antifúngicas e antioxidantes, além de ser de uso comum na medicina popular (Simon *et al.* 1984, Arrigoni-Blank *et al.* 2011, Ali *et al.* 2020).

As propriedades biológicas e os efeitos tóxicos sobre insetos observados pela ação desses óleos essenciais são atribuídos à presença de substâncias pertencentes ao grupo dos terpenos, com destaque aos compostos majoritários dos óleos de *O. majorana*, *C. officinalis*, *A. balsamifera* e *P. graveolens*: o terpinen-4-ol, E-caryophyllene, Valerianol e Citronellol, que associados aos demais constituintes se tornam opções a serem consideradas no controle de *N. elegantalis* (Pino *et al.* 2006, Bakkali *et al.* 2008, Pavela & Benelli 2016, Ali *et al.* 2020, Santana *et al.* 2022, Teixeira *et al.* 2022).

Como os óleos essenciais são considerados mais seletivos para inimigos naturais do que os produtos químicos convencionais (Pavela 2016), o controle biológico é outra alternativa a ser explorada, por meio do uso de inimigos naturais do gênero *Trichogramma*, que são microvespas parasitas de ovos de diversos insetos-praga, e já vem sendo utilizados em programas de controle biológico por meio de liberações inundativas em campos de vários países, incluindo o Brasil, promovendo a supressão da pragas antes que essas ocasionem danos aos cultivos (Coelho Jr *et al.* 2016, Sigsgaard *et al.* 2017).

Esses parasitoides de ovos são facilmente criados, além de apresentar custo de produção viável, o que permite a sua multiplicação (Lopes *et al.* 2018). Sendo objeto de programas de sucesso no controle biológico de insetos-praga em cultivos de tomate, parasitando ovos de diferentes lepidópteros, como a lagarta-da-soja (*Anticarsia gemmatilis* Hübner); lagarta falsa-medideira (*Pseudoplusia includens* e *Crysoideixis includens* Walker); traça do tomateiro (*Tuta absoluta* Meyrick); lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith); e Helicoverpa (*Helicoverpa armigera* Hübner) (Magalhães *et al.* 2012). Com destaque para o *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) encontrado em diversas regiões do país por se adaptar a diferentes ambientes, já relatado casos de parasitismo ocorrendo naturalmente a *N. elegantalis* em cultivos comerciais no nordeste do país (Oliveira *et al.* 2020).

Contudo, o uso de produtos químicos ou de origem botânica não seletivos pode afetar a biologia dos organismos não-alvo, o que resulta em redução no parasitismo e emergência do parasitoide, influenciando negativamente no uso desse método de controle (Parreira *et al.* 2019). O que traz a importância em conhecer como tais substâncias podem influenciar o desempenho dos inimigos naturais de modo a definir qual pode apresentar toxicidade ou seletividade (Sombra *et al.* 2022).

Sendo crucial para o sucesso o uso de agentes de controle biológico associado aos óleos essenciais que estes sejam compatíveis, bem como o conhecimento de fatores acerca do comportamento do inimigo natural diante de diferentes densidades do hospedeiro e como ele age ao longo do tempo, definido pela resposta funcional, podendo essa ser de três diferentes tipos (Tipo I, II e III) (Holling 1959). Tipo I, onde existe um crescimento linear do ataque até que atinja um ponto máximo. Tipo II, atinge um ponto fixo e estabiliza sua ação, sendo este a resposta mais comum apresentada por parasitóides. Tipo III, onde a resposta se dá através de um aumento da taxa de ataque e diminui, a medida que aumenta a densidade de hospedeiro até estabilizar, formando uma curva sigmóide (Holling 1959, Holling 1966, Ray *et al.* 2023).

Apesar do avanço nas pesquisas com óleos essenciais existem poucos trabalhos relatando o uso dessas substâncias no controle de *N. elegantalis*. Este fato deve-se, entre outros fatores, às dificuldades no estabelecimento deste inseto-praga em laboratório. Visando preencher esta lacuna, a presente pesquisa objetivou analisar os efeitos fisiológicos dos óleos essenciais de *O. majorana* e *C. officinalis* em comparação com os produtos formulados em *N. elegantalis* e estudar a toxicidade dos óleos essenciais de *A. balsamifera* e *P. graveolens* na referida praga e seus efeitos sobre o parasitóide *T. pretiosum* em comparação com os produtos formulados, avaliando sua seletividade e resposta funcional. Testando as seguintes hipóteses: 1) Os óleos essenciais de *O. majorana* e *C. officinalis* ocasionam alterações deletérias na fisiologia de *N. elegantalis*, contribuindo para redução da população e consequente controle. 2) A associação dos óleos essenciais de *A. balsamifera* e *P. graveolens* ao *T. pretiosum*, são uma alternativa promissora no controle desta praga, devido a sua seletividade ao inimigo natural e toxicidade a praga, potencializando, através da associação destes métodos, o controle deste inseto.

Literatura Citada

- AGROFIT. 2023.** Sistemas de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em <http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons> Acesso em 24 de novembro de 2023.
- Ali, A., C.C. Murphy, B. Demirci, D.E. Wedge, B.J. Sampson, I.A. Khan, K.H.C. Baser & N. Tabanca. 2019.** Insecticidal and biting deterrent activity of rose-scented geranium (*Pelargonium* spp.) essential oils and individual compounds against *Stephanitis pyrioides* and *Aedes aegypti*. Pest Manag. Sci. 69: 1385-1392.
- Ali, I.B.E., F. Tajini, A. Boulila, M.A. Jebri, M. Boussaid, C. Messaoud & H. Sebï. 2020.** Bioactive compounds from Tunisian *Pelargonium graveolens* (L' Hér.) essential oils and extracts: α -amilase and acetylcholinesterase inhibitory and antioxidant, antibacterial and phytotoxic activities. Industrial Crops & Prod. 158: 112951.
- Alves, T.J.S., G.S. Cruz, V. Wanderley-Teixeira, A.A.C. Teixeira, J.V. Oliveira, A.A. Correia, C.A.G. Câmara & F.M. Cunha. 2014.** Effects of *Piper hispidinervum* on spermatogenesis and histochemistry of ovarioles of *Spodoptera frugiperda*. Biotechnic Histochemistry, 89 (4):1-11.
- Arcanjo, L.P., E.M. Silva, T.A. Araújo, A.L.B. Crespo, P.A. Santana Júnior, G.B.O. Gomes & M.C. Picanço. 2021.** Decision-making systems for management of the invasive pest *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae) in commercial tomato crops according to insecticide spray method and plant stage. Crop Protect. 140: 105408.
- Arrese, E.L., A.D. Howard, R.T. Patel, O.J. Rimoldi & J.L. Soulages. 2010.** Mobilization of lipid stores in *Manduca sexta*: cDNA cloning and developmental expression of fat body triglyceride lipase, TGL. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 40 (2): 91-99.
- Arrigoni-Blank, M.F., S.A. Almeida, A.C.L. Oliveira & A.F. Blank. 2011.** Micropropagação e aclimação de gerânio (*Pelargonium graveolens* L.). Rev. Bras. Pl. Med. 13(3): 271-275.
- Arruda, C.J.A., A. Mejía, V.P. Ribeiro, C.H.G. Borges, C.H.G. Martins, R.C.S. Veneziani, S.R. Ambrósio & J.K. Bastos. 2019.** Occurrence, chemical composition, biological activities and analytical methods on *Copaifera* genus – a review. Biomed. Pharmacol. 109: 1-20.
- Ataide, J.O., H.B. Zago, H.J.G. Santos Júnior, L. Menini & J.R. Carvalho. 2020.** Acute toxicity, sublethal effect and changes in the behavior of *Lasioderma serricorne* Fabricius (Coleoptera: Anobiidae) exposed to major components of essential oils. Research Society and Development, 9 (8): e170985581.
- Barragán-Fonseca, K., J. Pineda-Mejia, M. Dicke & J.J.A. van Loon. 2018.** Performance of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) on vegetable residue-based diets formulated based on protein and carbohydrate contents. J. Econ. Entomol. 111(6): 2676-2683.

- Bakkali, F., S. Averbeck, D. Averbeck & M. Idaomar. 2008.** Biological effects of essential oil – A review. *Food Chem Toxicol* 46:446– 475.
- Bass, C & C.M. Jones. 2018.** Editorial overview: pests and resistance: resistance to pesticides in arthropod crop pests and disease vectors: mechanisms, models and tools. *Curren. Op. Insect Sci.* 460: 1-4.
- Benvença, S.R., S.A. Bortoli, S. Gravena & J.C. Barbosa. 2010.** Monitoramento da broca-pequena-do-fruto para tomada de decisão de controle em tomateiro estaqueado. *Hortic. Bras.*28: 435-440.
- Blackmer, J.L., A.E. Eiras & C.L.M. Souza. 2001.** Oviposition preference of *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae) and rates of parasitism by *Trichogramma pretiosum* (Riley) (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on *Lycopersicon esculentum* in São José de Ubá, Brazil. *Neotrop. Entomol.*30: 89-95.
- Bortoli, S.A., S.R. Benvença, S. Gravena, A.M. Vacari & H.X.L. Volpe. 2013.** Ação de inseticidas sobre os ovos e lagartas da broca-pequena-do-fruto do tomate, em bioensaio de laboratório. *Arq. Inst. Biol.* 80: 73-82.
- Carneiro, J.S., F.N.P. Haji & F.A.M. Santos. 1998.** Bioecologia e controle da broca-pequena do tomateiro *Neoleucinodes elegantalis*. Teresina, Embrapa Meio-Norte, 14 p. (Circular Técnica 26).
- Carroll, J.F., G. Paluch, J. Coats & M. Kramer. 2010.** Elemol and amyris oil repel the ticks *Ixodes scapularis* and *Ablyomma americanum* (Acari: Ixodidae) in laboratory bioassays. *Exp. Appl. Acarol.* 51: 383-392.
- Chapman, R.F. 2013.** The insects: structures and function. Cambridge, Cambridge University Press.
- Coelho Junior, A., P.F. Rugman-Jones, C. Reigada, R. Stouthamer & J.R. Parra. 2016.** Laboratory performance predicts the success of field releases in inbred lines of the egg parasitoid *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *PloS One* 11: 16.
- CONAB. 2023.** Série histórica – custos de produção de tomate de 2007 a 2022. Janeiro de 2023.
- Cruz, G.S., V. Wanderley-Teixeira, J.V. Oliveira, A.A.C. Teixeira, A.C. Araújo, T.J.S. Alves, F.M. Cunha & M.O. Breda. 2015.** Histological and histochemical changes by clove essential oil upon the gonads of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Int. J. Morphol.* 33(4): 1393-1400.
- Cruz, G.S., V. Wanderley-Teixeira, J.V. Oliveira, F.S.C. Lopes, D.R.S. Barbosa, M.O. Breda, K.A. Dutra, C.A. Guedes, D.M.A.F. Navarro & A.A.C. Teixeira. 2016.** Sublethal effects of essential oils from *Eucalyptus staigeriana* (Myrtales: Myrtaceae), *Ocimum gratissimum* (Lamiales: Lamiaceae), and *Foeniculum vulgare* (Apiales: Apiaceae) on the biology of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Econ. Entomol.* 109: 660-666.

- Debone, H.S., P.S. Lopes, P. Severino, C.M.P. Yoshida, E.B. Souto & C.F. Silva. 2019.** Chitosan/ copaíba oleoresin films for wound dressing application. *Int. J. Pharm.* 555: 146-152.
- Eiras, A.E. & J. L. Blackmer. 2003.** Eclosion time and larval behaviour of the tomato fruit borer, *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae). *Sci. Agric.* 60: 195-197. (Note).
- França, S.M., J.V. Oliveira, C.M. Oliveira, M.C. Picanço & A.P. Lôbo. 2009.** Efeitos ovicida e repelente de inseticidas botânicos e sintéticos em *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae). *Bol. San. Veg. Plagas* 35: 649-655.
- Gallo, D., O. Nakano, S. Silveira Neto, R.P.L. Carvalho, G.C. Baptista, E.B. Filho, J.R.P. Parra, R.A. Zucchi, S.B. Alves, J.D. Vendramim, L.C. Marchini, J.R.S. Lopes & C. Omoto. 2002.** *Entomologia Agrícola*. Piracicaba, FEALQ, 920p.
- Gomes, F.B., L.J. Fortunato, A.L.V. Pacheco, L.H. Azevedo, N. Freitas & S.K. Homma. 2012.** Incidência de pragas e desempenho produtivo de tomateiro orgânico em monocultivo e policultivo. *Hortic. Bras.* 30: 756-761.
- Gravena, S. & S.R. Benvenga. 2003.** Manual prático para manejo ecológico de pragas do tomate. Jaboticabal, Gravena-Man Ecol LTDA 144p.
- Holling, C.S. 1959.** Some characteristics of simplotypes of predation and parasitism. *Canadian Entomol.* 91: 385-398.
- Holling, C.S. 1966.** The functional response of invertebrate predators to prey density. *Mem. Entomol. Soci. Can.* 48:1-86.
- IBGE. 2023.** Levantamento sistemático da produção agrícola. *Levant. Sistem. Prod. Agríc.* Outubro, 2023.
- Isman, M.B. 2006.** Botanical insecticides, deterrents and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annu. Rev. Entomol.* 51: 45-66.
- Jaffe, K., B. Miras. & A. Cabrera. 2007.** Mate selection in the moth *Neoleucinodes elegantalis*: evidence for a supernormal chemical stimulus in sexual attraction. *Anim. Behav.* 73: 727-734.
- Jankowska, M., J. Rogalska, J. Wyszowska & M. Stankiewicz. 2017.** Molecular targets for components of essential oils in the insect nervous system – a review. *Molecul.* 23: 34.
- Jirovetz, L., G. Buchbauer, Z. Denkova, A. Stoyanova, I. Murgov, V. Gearon, S. Birkbeck, E. Schmidt & M. Geissler. 2006.** Comparative study on the antimicrobial activities of different sandalwood essential oils of various origin. *Flavour Fragr. J.* 21: 461-468.

- Kakouri, E., D. Daferera, C. Kanakis, P.K. Revelou, E.H. Kaparakou, S. Dervisoglou, D. Perdakis & P.A. Tarantilis. 2022.** *Origanum majorana* essential oil – a review of its chemical profile and pesticide activity. *Life*. 12: 1982.
- Li, Y., A.S. Fabiano-Tixier, F. Chemat. 2014.** Essential oils as reagents in green chemistry. London, Springer, (eBook).
- Loos, R.A., D.J.R. Silva, P.C.R. Fontes & M.C. Picanço. 2008.** Identificação e quantificação dos componentes de perdas de produção do tomateiro em ambiente protegido. *Hort. Bras.* 26: 281-286.
- Lopes, S.R., M.A.S. Da Paixão & I. Cruz. 2018.** Viabilidade econômica de biofábrica de *Trichogramma pretiosum* para uso contra pragas agrícolas da ordem Lepidoptera. *Revista IPecege* 4: 44-50.
- Magalhães, G.O., R.M. Goulart, A.M. Vacari, S.A. Bortoli. 2012.** Parasitismo de *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) em diferentes hospedeiros e cores de cartelas. *Arquivos do Instituto Biológico* 79(1): 55-60.
- Marcano, R. 1991.** Estudio de la biología y algunos aspectos del comportamiento del perforador del fruto del tomate *Neoleucinodes elegantalis* (Lepidoptera: Pyralidae) en tomate. *Agron. Trop.* 41: 257-263.
- Marsin, A. M., I.I. Muhamad, S.N.S. Anis, N.A.M. Lazim, L.W. Ching & N.H. Dolhaji. 2020.** Essential oils as insect repellent agents in food packaging: a review. *Europ. Food Reser. Techno.* 246: 1519-1532.
- Milano, P., E.B. Filho, J.R.P. Parra, M.L. Oda & F.L. Cônsoli. 2010.** Efeito da alimentação da fase adulta na reprodução e longevidade nas espécies de Noctuidae, Crambidae, Tortricidae e Elachistidae. *Neotrop. Entomol.* 39: 172-180.
- Miranda, M.M.M., M.C. Picanço, J.C. Zanuncio, L. Bacci & E.M.Silva. 2005.** Impact of integrated pest management on the population of leafminers, fruit borers, and natural enemies in tomato. *Ciên. Rural* 35: 204-208.
- Muñoz, L., P. Serrano, J.I. Pulido, & L. Cruz. 1991.** Ciclo de vida, hábitos y enemigos naturales de *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée, 1854) (Lepidoptera: Pyralidae), pesador del fruto del lulo *Solanum quitoense* Lam. *Acta Agron.* 41: 99-104.
- Oliveira, R.C.M., P.L. Pastori, C.R. Coutinho, S.O. Juvenal & C.V.S. Aguiar. 2020.** Natural parasitism of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in *Neoleucinodes elegantalis* (Lepidoptera: Crambidae) eggs on tomato (Solanales: Solanaceae) in the Northeast region, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 80(2): 474-475.
- Omoto, C. 2000.** Modo de ação de inseticidas e resistência de insetos a inseticidas. In: J.C. Guedes, I.D. Costa & E. Castiglioni (eds.), *Bases e técnicas do manejo de insetos*. Santa Maria: UFSM/CCR/DFS, p. 31-50.

- Park, H., & I. Park. 2012.** Larvicidal activity of *Amyris balsamifera*, *Daucus carota* and *Pogostemon cablin* essential oils and their components against *Culex pipiens pallens*. Jour. Asia-Pacific Entomo. 15: 631-634.
- Parreira, D.S., R. Alcántara-de la Cruz, F.A.R Dimaté, L.D. Batista, R.C. Ribeiro, G.A.R. Ferreira & J.C. Zanuncio. 2019.** Bioactivity of ten essential oils on the biological parameters of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) adults. Industrial Crops and Products, 127: 11–15.
- Pavela, R. 2016.** History, presence and perspective of using plant extracts as commercial botanical insecticides and farm products for protection against insects—a review. Plant Prot. Sci. 52: 229–241.
- Pavela, R. & G. Benelli. 2016.** Ethnobotanical knowledge on botanical repellents employed in the African region against mosquito vectors – a review. Exp. Parasitol. 167: 103–108.
- Peixoto, J.V.M., E.R. Moraes, J.L.M. Peixoto, A.R. Nascimento & J.G. Neves. 2017.** Tomaticultura: aspectos morfológicos e propriedades físico-químicas do fruto. Ver. Cient. Rur. 19(1): 108-131.
- Picanço, M.C., L. Bacci, E.M. Silva, E.G.F. Morais, G.A. Silva & N.R. Silva. 2007.** Manejo integrado das pragas do tomateiro no Brasil. In: D.J.H. Silva & F.X.R. Vale (eds.), Tomate: tecnologia de produção. Viçosa: UFV. p.199-232.
- Pino, J.A., R. Marbot & V. Fuentes. 2006.** Aromatic plants from western Cuba. VI. Composition of the leaf oils of *Murraya exotica* L., *Amyris balsamifera* L., *Severinia buxifolia* (Poir.)Ten. and *Triphasia trifolia* (Burm. F.) P. Wilson. J. Essent. Oil Res. 18: 24-28.
- Pratissoli, D., V.L.S. Lima, V.D. Pirovani & W.L. Lima. 2015.** Occurrence of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) on tomato in the Espírito Santo state. Horticultura brasileira 33: 101-105.
- Ray, A., B.G. Gadratagi, N. Budhlakoti, D.K. Rana, T. Adak, G.P.P. Govindharaj, N.B. Patil, A. Mahendiran & P.C. Rath. 2023.** Functional response of an egg parasitoid, *Trichogramma chilonis* Ishii to sublethal imidacloprid exposure. Pest Manag. Sci. 79: 3656-3665.
- Reganult-Roger, C., C.Vincent & J.T. Arnason. 2012.** Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. Annu. Rev. Entomol. 57: 405-424.
- Roeder, K.A. & S.T. Behmer. 2014.** Lifetime consequences of food protein-carbohydrate content for an insect herbivore. Functional Ecology. 28: 1135-1143.
- Roel, A.R. 2001.** Utilização de plantas com propriedades inseticidas: uma contribuição para o desenvolvimento rural sustentável. Revista Internacional de Desenvolvimento Local 1(2): 43-50.

- Sâmia, R. R., R.L. Oliveira, V.F. Moscardini & G.A. Carvalho. 2016.** Effects of aqueous extracts of *Copaifera langsdorffii* (Fabaceae) on the growth and reproduction of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotropical Entomology*, 45 (5): 580-587.
- Santana, M.L.G., V.W. Teixeira, C.A. Guedes, G.S. Cruz, M.C.N. Ferreira, K.A. Dutra, D.M.A.F. Navarro, R.S.M. Garcia, C.J.C.L. Neto, J.W.S. Melo & Á.A.C. Teixeira. 2022.** Sublethal effects of some essential oils on the nutrition and biological parameters of *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae) and its selectivity to *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *International Journal of Tropical Insect Science* 42: 3609–3621.
- Sigsgaard, L., A. Herz, M. Korsgaard & B. Wührer. 2017.** Mass release of *Trichogramma evanescens* and *T. cacoeciae* can reduce damage by the apple codling moth *Cydia pomonella* in organic orchards under pheromone disruption. *Insects* 8(2): 41.
- Silva, J.B.C. & L.B. Giordano. 2006.** Tomate para processamento industrial. Brasília, Embrapa, 168p.
- Silva, C.T.S., V. Wanderley-Teixeira, F.M. Cunha, J.V. Oliveira, K.A. Dutra, D.M.A.F. Navarro & A.A.C. Teixeira. 2016.** Biochemical parameters of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) treated with citronella oil (*Cymbopogon winterianus* Jowitt ex Bor) and its influence on reproduction. *Acta Histochemica*. 118: 347-352.
- Simon, J.E., A.F. Chadwick & L.E. Craker. 1984.** Herbs: an indexed bibliography 1971-1980: the scientific literature on selected herbs, and aromatic and medicinal plants of the temperature zone. Hamden: Archon Books, 770p.
- Sombra, K.E.S., P.L. Pastori, C.V.S. Aguiar, T.P.P. André, S.J. Oliveira, M.G. Barbosa & D. Pratissoli. 2022.** Selectivity of essential oils to the egg parasitoid *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Rev. Ciênc. Agron.* 53: e20207789.
- Teixeira, C.S., V. Wanderley-Teixeira, G.S. Cruz, M.L.G. Santana, M.C.N. Ferreira, K.A. Dutra, D.M.A.F. Navarro, V.A.A. Braga, D.S. Cavalcante, T.J.S. Alves, Á.A.C. Teixeira & C.A. Guedes. 2022.** Influence of the essential oils of *Origanum majorana* and *Copaifera officinalis* in comparison to formulated products on adult gonads of *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae). *Int. Journ. Biological and Nat. Scien.* 2(3): 1-21.
- Telfer, W.H. 2009.** Egg formation in Lepidoptera. *Journal of Insect Science*, 9 (1): 1-21.
- Trindade, R., J.K. Silva & W.N. Setzer. 2018.** *Copaifera* of the neotropics: a review of the phytochemistry and pharmacology. *Int. J. Mol. Sci.* 19: 1511.
- Vallejo-Cabrera, F.A. 2021.** Avances en la producción de líneas de tomate *Solanum lycopersicum* Mill. con resistencia genética al perforador del fruto *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée 1854) (Lepidoptera: Crambidae). *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 45(174): 136-146.

CAPÍTULO 2

PROCESSO DE SELEÇÃO DE HOSPEDEIRO E FATORES QUE INFLUÊNCIAM NO
SUCESSO DO PARASITISMO DE *Trichogramma spp.* (HYMENOPTERA:
TRICHOGRAMMATIDAE) ¹

CAMILA S. TEIXEIRA¹, VALÉRIA WANDERLEY-TEIXEIRA², ÁLVARO A. C.
TEIXEIRA², CAROLINA A. GUEDES¹, GLAUCILANE S. CRUZ¹, CATIANE O. SOUZA¹,
MILENA L. G. SANTANA¹

¹Departamento de Agronomia – Entomologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Rua Dom Manoel de Medeiros, Recife, PE, 52171-900, Brasil.

²Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal, Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Rua Dom Manoel de Medeiros, Recife, PE, 52171-900, Brasil.

¹ Teixeira, C.T., V. Wanderley-Teixeira, Á.A.C. Teixeira, C.A. Guedes, G.S. Cruz, C.O. Souza & M.L.G. Santana. 2021. Processo de seleção de hospedeiro e fatores que influenciam no sucesso do parasitismo de *Trichogramma spp.* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Publicado como capítulo do livro Sustentabilidade e meio ambiente: Rumos e estratégias para o futuro pela Editora Atena. DOI 10.22533/at.ed.584210410.

RESUMO - Parasitoides do gênero *Trichogramma* são utilizados em todo mundo para o controle de importantes pragas agrícolas, com o intuito de reduzir o uso de produtos químicos em campo que possam afetar negativamente o homem e o meio ambiente. Este trabalho teve por objetivo demonstrar o modo pelo qual fêmeas do parasitoide *Trichogramma* realizam a escolha de seus hospedeiros e fazem sua postura, bem como os fatores que podem influenciar nesse processo de escolha e alterar as taxas de parasitismo e emergência do parasitoide. Para isso, foi feita uma revisão de literatura, no qual foram coletados dados a partir de estudos acadêmicos já existentes, artigos em jornais de grande circulação e boletins de empresas e agências públicas selecionadas através do banco de dados do Scielo, Google Acadêmico, Science Direct, Pubmed e Periódicos Capes. Assim, concluímos que as diversas pesquisas cujo foco é demonstrar a capacidade de controle realizada pelo inimigo natural, fornecem informações relevantes para se conhecer particularidades do parasitoide para selecionar seu hospedeiro e determinar como se pode contribuir para aumentar a sua eficiência em campo conhecendo os fatores que podem interferir em seu desempenho, colaborando para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável e segura ambientalmente.

PALAVRAS-CHAVE: *Trichogramma*, controle biológico, parasitoide de ovo, micro-himenópteros.

HOST SELECTION PROCESS AND FACTORS THAT INFLUENCE THE SUCCESS OF PARASITISM OF *Trichogramma* spp. (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE)

ABSTRACT – Parasitoids of the genus *Trichogramma* are used worldwide to control important agricultural pests, with the aim of reducing the use of chemical products in the field that could negatively affect humans and the environment. This work aimed to demonstrate the way in which females of the *Trichogramma* parasitoid choose their hosts and lay their eggs, as well as the factors that can influence this choice process and alter the rates of parasitism and emergence of the parasitoid. For this, a literature review was carried out, in which data were collected from existing academic studies, articles in widely circulated newspapers and bulletins from companies and public agencies selected through the Scielo database, Google Scholar, Science Direct , Pubmed and Periódicos Capes. Thus, we conclude that the various researches whose focus is to demonstrate the control capacity carried out by the natural enemy, provide relevant information to know the particularities of the parasitoid to select its host and determine how it can contribute to increasing its efficiency in the field by knowing the factors that can interfere in its performance, contributing to the development of sustainable and environmentally safe agriculture.

KEY WORDS: *Trichogramma*, biological control, egg parasitoid, microhymenoptera.

Introdução

O controle biológico de pragas é uma das vertentes presentes dentro do manejo integrado de pragas (MIP), que tem como objetivo oferecer uma metodologia de controle que provoque menos danos ao meio ambiente e ao ser humano, além de contribuir para a redução do uso de produtos químicos. Baseado no uso de diferentes organismos, este método conta com uso de fungos, bactérias, vírus, artrópodes predadores e parasitoides, denominados inimigos naturais (Pinóia, 2012).

Dentre esses agentes de controle biológico, os parasitoides vêm sendo empregados em diversos programas de MIP, pela possibilidade de multiplicação de forma massal em laboratório, maior especificidade e pela capacidade de explorar uma ou mais fases de vida dos hospedeiros, como ovos e larvas. Entre os parasitoides que tem sido mais utilizado nos sistemas agrícolas estão as microvespas do gênero *Trichogramma* (Pinto 2006, Querino *et al.* 2010, Luna *et al.* 2015).

Este gênero possui mais de 200 espécies descritas em todo o mundo e dessas menos da metade é encontrada na América do Sul, com cerca de 26 no Brasil. Estes insetos são eficientes no parasitismo de ovos de várias espécies de importância agrícola, principalmente lepidópteros praga, contribuindo para a redução de danos provocados às culturas implantadas em campo (Pinto 2006, Querino *et al.* 2010, Coelho Jr *et al.* 2016, Sigsgaard *et al.* 2017).

Um dos fatores intrínsecos ao seu uso em plantios esta sua adaptabilidade ao ambiente agrícola e disponibilidade no ambiente natural, dentre as espécies encontradas e adaptadas utilizadas no Brasil pode-se citar o exemplo do *Trichogramma galloi* Zucchi, 1988 (Hymenoptera: Trichogrammatidae), que faz parte do controle de *Diatraea saccharalis* Fabr., 1794 (Lepidoptera: Crambidae) em plantios de cana-de-açúcar e *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) que é o mais comercializado, sendo relatado parasitando mais de 240 espécies de lepidópteros, a exemplo da broca-pequena-do-tomate (*Neoleucinodes elegantalis* Guenée)

(Lepidoptera: Crambidae); traça-do-tomateiro (*Tuta absoluta* Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae); lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae); e Helicoverpa (*Helicoverpa armigera* Hübner, 1809) (Lepidoptera: Noctuidae), o que demonstra seu potencial emprego para o controle de pragas agrícolas que reduzem a produtividade de diversas culturas de importante valor comercial (Magalhães *et al.* 2012, Querino *et al.* 2016, 2017, Oliveira *et al.* 2020).

Para garantir sucesso nesse método é importante que sejam conhecidos os fatores que possam interferir e provocar redução nas taxas de parasitismo e de emergência, como por exemplo conhecer a biologia do parasitoide no hospedeiro estudado, a interferência das condições bióticas e abióticas, como temperatura, a idade e densidade dos ovos dos hospedeiros e a seletividade de produtos comumente utilizados (Fuentes 1994; Davies *et al.* 2011).

É importante ser considerado todo processo de desenvolvimento embrionário e das fases imaturas do parasitoide, iniciando com a escolha do ovo hospedeiro pelos parasitoides fêmeas, uma vez que refletirá na disponibilidade de nutrientes aos imaturos, sendo esse processo dividido na distribuição do parasitoide no ambiente do hospedeiro; o contato do parasitoide com o hospedeiro; seleção e aceitação do ovo hospedeiro para determinar sua qualidade; e a adequação do hospedeiro para o desenvolvimento da nova prole (Doutt 1958, Pratissoli *et al.* 2007; Poltronieri *et al.* 2008, Ko *et al.* 2014).

Diante do exposto, este trabalho objetivou demonstrar o modo pelo qual fêmeas do parasitoide *Trichogramma* realizam a escolha de seus hospedeiros e fazem sua postura. Bem como, os fatores que podem influenciar nesse processo de escolha e alterar as taxas de parasitismo e emergência do parasitoide.

Material e Métodos

Esta pesquisa constitui-se de uma revisão de literatura realizada entre os meses de fevereiro de 2021 a maio de 2021, no qual foram coletados dados a partir de estudos acadêmicos já existentes, artigos em jornais de grande circulação e boletins de empresas e agências públicas. Os artigos científicos foram selecionados através do banco de dados do Scielo, Google acadêmico, Science Direct, Pubmed e Portal Periódicos Capes. A busca nos bancos de dados foi realizada utilizando as terminologias utilizadas pelos descritores em ciências agrônômicas em português e inglês, além disso, os artigos foram limitados aos anos de 1958 a 2020.

Discussão

Processo de Seleção do Hospedeiro pelo Parasitoide do gênero *Trichogramma*. Para encontrar o hospedeiro, o parasitoide de ovos se utiliza de alguns sentidos visando facilitar a identificação, através de diferentes estímulos, podendo ser físicos ou químicos e também visuais. Os pontos físicos a serem observados são: a cor dos ovos e o seu tamanho, som e vibração do ambiente; e como químicos cairomônios emitidos pelos ovos e sinomônios da própria planta, cujo objetivo é indicar e guiar o parasitoide até a localização do habitat e dos ovos a serem parasitados (Vinson 1985, 1997, 1998).

Ao localizar os ovos do hospedeiro a fêmea inicia um processo de inspeção da área externa, caminhando sobre sua superfície e tocando com as antenas, além da identificação de volume interno do ovo de modo que possa definir quantos ovos serão depositados; formato e também verificar se já se encontra parasitado (Pak & Jong 1987, Pak *et al.* 1990, Suverkropp 1997).

Outro fator observado pelas fêmeas antes de realizar a oviposição é com relação ao tamanho do hospedeiro, pois influencia diretamente no tamanho da prole, onde parasitoides maiores têm

uma chance superior de ser mais fecundo e apresentar alta longevidade do que os gerados em ovos de menor tamanho (Boldt 1974, Bai *et al.* 1992).

Possíveis substâncias químicas presentes na superfície dos ovos também podem influenciar o processo de seleção e serem percebidas por meio da comunicação química entre parasitoide-hospedeiro, levando a sua aceitação ou causar inibição e rejeição pelas espécies do parasitoide, por representar riscos ao desenvolvimento da nova geração (Anunciada 1983, Pak & Jong 1987).

Após o processo de avaliação externa do hospedeiro, o parasitoide fêmea inicia o processo de inserção do ovipositor, perfurando o córion, o que permite que seja feita o reconhecimento do interior do ovo. Seguidos pela inserção completa do ovipositor e deposição dos ovos no interior do ovo-hospedeiro (Suzuki *et al.* 1984; Blanché *et al.* 1996, Hassan 1997, Nurindah *et al.* 1999).

Fatores que Podem Interferir no Parasitismo e Emergência de *Trichogramma*. Para garantir a eficiência no uso do parasitoide como método de controle é importante que se observe fatores que podem comprometer a sua ação em campo, visto que diferente do que ocorre em laboratório o ambiente não pode ser controlado. Deve-se considerar restrições ambientais, tais como: porte da planta; espaçamento utilizado; variedade, para prevenir possível efeito de repelência; características biológicas da espécie hospedeira que se deseja controlar, como tamanho do ovo e idade; fatores climáticos, como temperatura e umidade; além da seletividade dos produtos que estão sendo aplicados no campo (Davies *et al.* 2011).

Fatores Bióticos. Um ponto importante a ser analisado é a idade dos ovos-hospedeiro, visto que podem influenciar no valor nutricional disponível para o desenvolvimento embrionário do parasitoide, o que influencia negativamente a taxa de parasitismo (Pratissoli *et al.* 2007; Poltronieri *et al.* 2008, Ko *et al.* 2014).

Polanczyck *et al.* (2007) identificaram em seu estudo que houve uma preferência de *Trichogramma exiguum* Pinto & Platner, 1978 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) por ovos com

cerca de 72h de desenvolvimento embrionário de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). Enquanto Faria *et al.* (2000) observaram que houve maior taxa de parasitismo de *T. pretiosum* em ovos de 36h de *T. absoluta*. Para definir a melhor idade a ser utilizada deve-se observar particularidades em cada espécie hospedeira, visto que o sucesso do uso do parasitoide como método de controle está associado ao conhecimento de seus parâmetros biológicos (Siqueira *et al.* 2012).

Fatores Abióticos. Estudos acerca da influência climática, com destaque para a temperatura são cruciais para determinar a eficiência do uso dos parasitoides (Foerster *et al.* 2014). Ao estudar a variação de parâmetros biológicos e o requerimento termal de *T. pretiosum* em ovos de *N. elegantalis*, Oliveira *et al.* (2017) observaram uma queda na porcentagem de parasitismo quando as temperaturas ultrapassaram 30° C, sendo a faixa de temperatura variando de 25 a 28° C considerada a mais adequada para o parasitoide, chegando a porcentagens de parasitismo maiores que 70% e taxa de emergência de até 100%, o que explica sua capacidade adaptativa a diferentes ambientes.

Silva *et al.* (2018) em seu estudo, observaram a presença do parasitoide *T. pretiosum* ocorrendo naturalmente em uma plantação de tomate em campo aberto em todas as estações do ano, sendo um dos fatores que contribuíram com a mortalidade da broca-pequena, influenciando no controle da praga, indicando a capacidade de adaptação do inimigo natural à plasticidade das variações climáticas ao longo de um ano.

Seletividade de Óleos Essenciais e Inseticidas. Outro ponto importante a ser analisado é a seletividade de produtos químicos e botânicos junto ao uso de inimigos naturais. Esse procedimento deve ser realizado com cautela, visto que alguns produtos podem ser tóxicos a esses organismos, como já foi observado por Carvalho *et al.* (2010) em *T. pretiosum*, onde alguns

produtos testados, como lufenurom e imidacloprid foram ligeiramente tóxicos ao parasitoide, influenciando no parasitismo.

Rampelotti-Ferreira *et al.* (2017) observaram que o produto comercial a base de óleo de nim foi capaz de reduzir cerca de 70 % do parasitismo de *T. pretiosum*, sendo considerado levemente nocivo ao mesmo. Enquanto Parreira *et al.* (2018) encontraram óleos essenciais inócuos à emergência da mesma espécie de parasitoide, ou seja, não afetou o desenvolvimento dos imaturos, a exemplo dos óleos de *Allium sativum*, *Piper nigrum* e *Syzygium aromaticum* que foram testados no estudo.

Em um estudo feito por Parreira *et al.* (2018) utilizando *T. galloi*, foi constatado que todos os dez óleos testados provocaram redução na taxa de parasitismo, com destaque para o óleo de *Zingiber officinale* que apresentou a maior taxa de redução de emergência, além de ter apresentado efeito na longevidade, reduzindo o tempo de pré-pupa e pupa em até 50%, sendo considerado não seletivo para este parasitoide.

Ao testar a seletividade dos óleos essenciais de *Lippia origanoides*, *Cymbopogon winterianus* e *Cymbopogon citratus* sobre adultos de *T. pretiosum*, Sombra (2019) observou que os três óleos foram seletivos a esses indivíduos, provocando baixa mortalidade, variando entre 17,2 e 32,2 %. Destacando o óleo de *L. origanoides* na dose de 0,01 % que apresentou a menor taxa de redução de parasitismo, o que ressalta a importância de estudos que visam identificar os efeitos que outros métodos de controle possam apresentar sobre o parasitoide de modo a garantir seu desenvolvimento sem nenhuma interferência e viabilizar o uso integrado dos diferentes métodos de controle (Magalhães *et al.* 2012).

Conclusão

Diante do exposto podemos afirmar que para garantir o sucesso do uso desse método é importante que se conheça suas particularidades para seleção e aceitação do ovo-hospedeiro, além de conhecer os fatores que podem interferir no desenvolvimento do parasitoide. O controle biológico utilizando o parasitoide de ovos *Trichogramma* spp. é eficiente para o controle de diferentes pragas agrícolas, de modo a contribuir para que este consiga se estabelecer e contribuir para redução de danos nos cultivos agrícolas.

Agradecimentos

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa.

Literatura Citada

- Anunciada, L. 1983.** A escolha de um oófago *Trichogramma* para o controlo biológico de *Mythimna unipuncta*. Diss. Doutorado Biologia, Univ. Açores, Ponta Delgada, 380 p.
- Bai, B., R.F. Luck, L. Foster, B. Stephens & J.A.M. Jansen. 1992.** The effects of host size on quality attributes of the egg parasitoid, *Trichogramma pretiosum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 64: 37-48.
- Blanché, S., J. Casas, F. Bigler, & K.E. Janssen-Van Bergeijk. 1996.** An individual-based model of *Trichogramma foraging* behavior: parameter estimation for single females. *Journal of Applied Ecology*, 33: 425-434.
- Boldt, P.E. 1974.** Temperature, humidity, and host: effect of rate of search of *Trichogramma evanescens* and *T. minutum auctt.* (Riley, 1871), *Annals of Entomological Society of America*, 67: 706-708.
- Carvalho, G.A., M.S. Godoy, D.S. Parreira, O. Lasmar, J.R. Souza & V.F. Moscardini. 2010.** Selectivity of growth regulators and neonicotinoids for adults of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Revista Colombiana de Entomologia*, 36: 195-201.

- Coelho Jr, A., P.F. Rugman-Jones, C. Reigada, R. Stouthamer & J.R.P. Parra. 2016.** Laboratory performance predicts the success of field releases in inbred lines of the egg parasitoid *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *PloS One*, 11: 16.
- Davies, A.P., C.M. Carr, B.C.G. Scholz & M.P. Zalucki. 2011.** Using *Trichogramma westwood* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) for insect pest biological control in cotton crops: an Australian perspective. *Australian Journal of Entomology*, 50: 424-440.
- Doutt, R.D. 1958.** The biology of parasitic hymenoptera. *Annual Review of Entomology*, 4: 161-182.
- Faria, C.A., J.B. Torres & A.M.I. Farias. 2000.** Resposta funcional de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) parasitando ovos de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae): efeito da idade do hospedeiro. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 29: 85-93.
- Foerster, M.R., C.A. Marchioro & L.A. Foester. 2014.** Temperature-dependent parasitism, survival, and longevity of five species of *Trichogramma westwood* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) associated with *Anticarsia gemmatilis* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotropical Entomology*, 43: 176-182.
- Fuentes, S.F. 1994.** Produccion y uso de *Trichogramma* como regulador de plagas. Lima, RAAA, 192 p.
- Hassan, S.A. 1997.** Seleção de espécies de *Trichogramma* para o uso em programas de controle biológico. In: J.R.P. Parra & R.A. Zucchi. *Trichogramma e o controle biológico aplicado*. Piracicaba, FEALQ, cap 7: 183-206.
- Ko, K., Y. Liu, M. Hou, D. Babendreier, F. Zhang & K. Canção. 2014.** Evaluation for potential *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) strains for control of the striped stem borer (Lepidoptera: Crambidae) in the Greater Mekong Subregion. *Journal of Economic Entomology*, 107: 955-963.
- Luna, M.G., P.C. Pereyra, C.E. Coviella, E. Nieves, V. Savino, N.G.S. Gervassio, E. Luft, E. Virla & N.E. Sánchez. 2015.** Potential of biological control agents against *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae): current knowledge in Argentina. *Florida Entomologist*, 98 (2): 489-494.
- Magalhães, G.O., R.M. Goulart, A.M. Vacari & S.A. Bortoli. 2012.** Parasitismo de *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) em diferentes hospedeiros e cores de cartelas. *Arquivos do Instituto Biológico*, 79 (1): 55-60.
- Nurindah, B., W. Cribb & G. Gordh. 1999.** Experience acquisition by *Trichogramma australicum* Girault (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Australian Journal of Entomology*, 38: 115-119.

- Oliveira, C.M., J.V. Oliveira, D.R.S. Barbosa, M.O. Breda, S.M. França & B.L.R. Duarte. 2017.** Biological parameters and thermal requirements of *Trichogramma pretiosum* for the management of the tomato fruit borer (Lepidoptera: Crambidae) in tomatoes. *Crop Protection*, 1 (99): 39-44.
- Oliveira, R.C.M., P.L. Pastori, C.R. Coutinho, S.O. Juvenal & C.V.S. Aguiar. 2020.** Natural parasitism of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in *Neoleucinodes elegantalis* (Lepidoptera: Crambidae) eggs on tomato (Solanales: Solanaceae) in the Northeast region, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 80 (2): 474-475.
- Pak, G.A. & E.J. Jong. 1987.** Behavioural variations among strains of *Trichogramma spp.*: host recognition. *Netherlands Journal of Zoology*, 37 (2): 137-166.
- Pak, G.A., J.W.M. Kaskens & E.J. Jong. 1990.** Behavioural variation among strains of *Trichogramma spp.*: host-species selection. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 56: 91-102.
- Parreira, D.S., R.A. La Cruz, J.C. Zanuncio, P.G. Lemes, G.S. Rolim, L.R. Barbosa, G.L.D. Leite & J.E. Serrão. 2018.** Essential oils cause detrimental effects on biological parameters of *Trichogramma galloi* immatures. *Journal of Pest Science*, 91 (2): 887-895.
- Parreira, D.S., R.A. De La Cruz, G.L.D. Leite, F.S. Ramalho, J.C. Zanuncio & J.E. Serrão. 2018.** Quantifying the harmful potential of ten essential oils on immature *Trichogramma pretiosum* stages. *Chemosphere*, 199: 670-675.
- Pinóia, S.S.F. 2012.** Eficácia de *Bacillus thuringiensis* (Berliner) e espinosade no combate a *Helicoverpa armigera* (Hbn) (Lepidoptera: Noctuidae) em tomateiro. Dissertação de Mestrado, Ulisboa, Lisboa, 89 p.
- Pinto, J.D. 2006.** A review of the New World genera of Trichogrammatidae (Hymenoptera). *Journal Hymenoptera Research*, Madison, 15: 38–163.
- Polanczyk, R.A., D. Pratissoli, A.M. Holtz, C.L.T. Pereira & I.S.A. Furtado. 2007.** Efeito da idade de *Trichogramma exiguum* e do desenvolvimento embrionário da traça-das-crucíferas sobre as características biológicas do parasitóide. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, 29: 161-166.
- Poltronieri, A.S., E.D.B. Silva, E.S. Araujo, J.M. Schuber & P.L. Pastori. 2008.** Características biológicas de duas linhagens de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) em ovos da mariposa-oriental com diferentes idades. *Boletim de Sanidad Vegetal Plagas*, 34: 349-356.
- Pratissoli, D., R.A. Polanczyk, C.L.T. Pereira, I.S.A. Furtado & J.G. Cochetto. 2007.** Influência da fase embrionária dos ovos da traça-das-crucíferas sobre fêmeas de *Trichogramma pretiosum* com diferentes idades. *Horticultura Brasileira*, 25: 286-290.

- Querino, R.B., J.V. Mendes, V.A. Costa & R.A. Zucchi. 2017.** New species, notes and new records of *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in Brazil. *Zootaxa*, 4232 (1): 137-143.
- Querino, R.B., N.N.P. & R.A. Zucchi. 2016.** Natural parasitism by *Trichogramma* spp. in agroecosystems of the Mid-North, Brazil. *Ciência Rural*, 46 (9): 521-1523.
- Querino, R.B., R.A. Zucchi & J.D. Pinto. 2010.** Systematics of the Trichogrammatidae (Hymenoptera: Chalcidoidea) with a focus on the genera attacking Lepidoptera. In: F.L. Consoli, J.R.P. Parra & R.A. Zucchi (eds.), *Egg parasitoids in agroecosystems with emphasis on Trichogramma*. New York, Springer, p. 191-218.
- Rampelotti-Ferreira, F.T., A. Coelho Jr, J.R.P. Parra & J.D.V. Vendramim. 2017.** Selectivity of plant extracts for *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 138: 78-82.
- Sigsgaard, L., A. Herz, M. Korsgaard & B. Wührer. 2017.** Mass release of *Trichogramma evanescens* and *T. cacoeciae* can reduce damage by the apple codling moth *Cydia pomonella* in organic orchards under pheromone disruption. *Insects*, 8 (2): 41.
- Silva, E.M., R.S. Silva, L.J. Silva, P.C. Gontijo, T.V.S. Galdino, M.C. Picanço & L. Bacci. 2018.** Seasons of the year affect critical stage and key mortality factors for *Neoleucinodes elegantalis* in open field tomatoes. *Annals of Applied Biology*, 174 (2): 133-141.
- Siqueira, J.R., R.C.O.F. Bueno, A.F. Bueno & S.S. Vieira. 2012.** Preferência hospedeira do parasitoide de ovos *Trichogramma pretiosum*. *Ciência Rural*, Santa Maria, 42 (1): 1-5.
- Sombra, K.E.S. 2019.** Prospecção de óleos essenciais para o controle de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) e seletividade à *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 98 p.
- Suverkropp, B.P. 1997.** Host finding behaviour of *Trichogramma brassicae* in maize. Diss. Doutorado. Univ. Wageningen, Wageningen, Holanda, 249 p.
- Suzuki, Y., H. Tsuji & W.A. Sasaka. 1984.** Sex allocation and effects of superparasitism on secondary sex ratios in the gregarious parasitoid, *Trichogramma chilonis* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Animal Behavior*, 32: 478-484.
- Vinson, S.B. 1997.** Comportamento de seleção hospedeira de parasitóides de ovos, com ênfase na família Trichogrammatidae. In: Parra, J.R.P. & R.A. Zucchi. *Trichogramma e o controle biológico aplicado*. Piracicaba, FEALQ, p. 67-120.
- Vinson, S.B. 1998.** The general host selection behavior of parasitoid Hymenoptera and a comparison of initial strategies utilized by larvaphagous and oophagous species. *Biological Control*, 11: 79-96.

Vinson, S.B. 1985. The behavior of parasitoids. In: G.A. Kertut & L.I. Gilbert (eds.), Comprehensive insect physiology, biochemistry and pharmacology. New York, Pergamon Press, p.417-469.



DECLARAÇÃO DE PUBLICAÇÃO

A Atena Editora, especializada na publicação de livros, revistas internacionais e coletâneas de artigos científicos em todas as áreas do conhecimento, com sede na cidade de Ponta Grossa-PR, declara que após avaliação cega pelos pares, membros do nosso Conselho Editorial, o artigo intitulado "PROCESSO DE SELEÇÃO DE HOSPEDEIRO E FATORES QUE INFLUÊNCIAM NO SUCESSO DO PARASITISMO

DE Trichogramma spp. (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE", de autoria de "Camila Santos Teixeira, Valeria Wanderley Teixeira, Álvaro Aguiar Coelho Teixeira, Carolina Arruda Guedes, Glaucilane dos Santos Cruz, Catiane Oliveira Souza, Milena Larissa Gonçalves Santana, glaucilane dos santos cruz", foi aprovado e publicado no livro eletrônico "Sustentabilidade e meio ambiente: Rumos e estratégias para o futuro", sob ISBN 978-65-5983-558-4 e DOI 10.22533/at.ed.58421041026.

Agradeço a escolha pela Atena Editora como meio de transmitir ao público científico e acadêmico o trabalho e parabenizo os autores pela publicação.

Reitero protestos de mais elevada estima e consideração.

Ponta Grossa, 09 de janeiro de
2024

Prof.^a Antonella Carvalho de
Oliveira Doutora em ensino de ciência
e tecnologia

CAPÍTULO 3

INFLUÊNCIA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS DE *Origanum majorana* E *Copaifera officinalis* EM COMPARAÇÃO COM PRODUTOS FORMULADOS SOBRE GÔNADAS DE ADULTOS DE *Neoleucinodes elegantalis* (GUENÉE) (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) ¹

CAMILA S. TEIXEIRA¹, VALÉRIA WANDERLEY-TEIXEIRA², GLAUCILANE S. CRUZ¹,
DANIELA M. A. F. NAVARRO³, ÁLVARO A. C. TEIXEIRA²

¹Departamento de Agronomia – Entomologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manoel de Medeiros, Recife, PE, 52171-900, Brasil.

²Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manoel de Medeiros, Recife, PE, 52171-900, Brasil.

³Departamento de Química Fundamental, Universidade Federal de Pernambuco, Avenida Prof. Moraes Rego, Recife, PE, 50670-901, Brasil.

¹Teixeira, C.S., V. Wanderley-Teixeira, G.S. Cruz, D.M.A.F. Navarro, Á.A.C. Teixeira & C.A. Guedes. 2022. Influência dos óleos essenciais de *Origanum majorana* e *Copaifera officinalis* em comparação com produtos formulados sobre gônadas de adultos de *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae). Publicado na International Journal of Biological and Natural Sciences. DOI 10.22533/at.ed.813232228041.

RESUMO – *Neoleucinodes elegantalis* é uma das pragas chave da tomaticultura, responsável por causar perdas na produção. Com isso, medidas de controle com novos modos de ação ou diferentes sítios de ação vêm sendo investigado, como o uso de óleos essenciais. Portanto, o presente estudo avaliou os efeitos dos óleos essenciais de *Copaifera officinalis* L. e *Origanum majorana* L. sobre a histologia e histoquímica das gônadas de *N. elegantalis*, baseada em análises de morfologia, carboidratos e proteínas, comparados com produtos formulados comerciais. Os óleos essenciais foram analisados por cromatografia gasosa (CG-EM). Para executar os bioensaios, foi pulverizado sobre adultos de 48 h de idade doses subletais, nas concentrações de 666,34 e 528,37 mg/L, dos óleos de *C. officinalis* e *O. majorana*, respectivamente. Os inseticidas formulados, Decis® e Azamax®, por sua vez, foram usados nas suas respectivas concentrações recomendadas. Após 48 h, os testículos e ovários foram coletados para as análises histológicas e histoquímicas. A cromatografia gasosa identificou E-Caryophyllene e Terpinene-4-ol como componentes majoritários de *C. officinalis* e *O. majorana*, respectivamente. Foi observado redução do vitelo e alterações nas concentrações de proteínas, nos tratamentos com *O. majorana* e Azamax®, e em carboidratos, com o tratamento Azamax®, em ovários de *N. elegantalis*. Testículos da praga tratados com *O. majorana* apresentaram espaços vazios, indicando ausência de espermatozoides, e redução dos teores de carboidratos e proteínas nos tratamentos com *O. majorana*, Decis® e Azamax®. *Origanum majorana* destaca-se por ter provocado maior dano à gametogênese, demonstrando ser uma alternativa para contribuir com controle de *N. elegantalis*.

PALAVRAS-CHAVE: E-Caryophyllene, Terpinene, bioativo, histofisiologia, broca pequena do tomate, gametogênese

INFLUENCE OF THE ESSENTIAL OILS OF *Origanum majorana* AND *Copaifera officinalis*
IN COMPARISON TO FORMULATED PRODUCTS ON ADULT GONADS OF *Neoleucinodes*
elegantalis (GUENÉE) (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE)

ABSTRACT – *Neoleucinodes elegantalis* is one of the key pests in tomato farming, responsible for causing losses in production. As a result, control measures with new modes of action or different sites of action have been investigated, such as the use of essential oils. Therefore, the present study evaluated the effects of *Copaifera officinalis* L. and *Origanum majorana* L. essential oils on the histology and histochemistry of *N. elegantalis* gonads, based on analyzes of morphology, carbohydrates and proteins, compared with commercial formulated products. Essential oils were analyzed by gas chromatography (GC-MS). To perform the bioassays, 48-hour-old adults were sprayed with sublethal doses, at concentrations of 666.34 and 528.37 mg/L, of *C. officinalis* and *O. majorana* oils, respectively. The formulated insecticides, Decis® and Azamax®, in turn, were used in their respective recommended concentrations. After 48 h, the testes and ovarioles were collected for histological and histochemical analyses. Gas chromatography identified E-Caryophyllene and Terpinene-4-ol as major components of *C. officinalis* and *O. majorana*, respectively. A reduction in yolk and changes in protein concentrations were observed in treatments with *O. majorana* and Azamax®, and in carbohydrates, with Azamax® treatment, in *N. elegantalis* ovarioles. Testicles of the pest treated with *O. majorana* showed empty spaces, indicating the absence of sperm, and reduced carbohydrate and protein levels in treatments with *O. majorana*, Decis® and Azamax®. *Origanum majorana* stands out for having caused greater damage to gametogenesis, proving to be an alternative to contribute to the control of *N. elegantalis*.

KEY WORDS: E-Caryophyllene, Terpinene, bioactive, histophysiology, tomato fruit borer, gametogenesis.

Introdução

Por décadas, o uso de inseticidas sintéticos tem sido o mais eficiente e viável método de controle para pragas agrícolas. Contudo, fatores como o desenvolvimento de populações resistentes e os danos causados em organismos não alvo têm motivado pesquisas por métodos de controle alternativos e ecologicamente viáveis (Desneux *et al.* 2007, Benelli 2015). Portanto, produtos botânicos, como óleos essenciais, ganhou proeminência devido suas altas propriedades inseticidas (Isman 2020, Pavela *et al.* 2020).

Óleos essenciais são substâncias de defesa derivadas do metabolismo secundário das plantas e que apresentam uma ampla variedade de sítios de ação e que atua em diferentes caminhos metabólicos dos insetos. Essas substâncias agem causando neurotoxicidade, regula o crescimento dos insetos, atua em enzimas digestivas, inibe glutathione-S-transferase, e interfere no processo da gametogênese (Hummelbrunner & Isman 2001, Park & Tak 2016). Óleos essenciais são fontes promissoras de moléculas inseticidas, superando grande parte dos desafios associados aos inseticidas sintéticos: eles são biodegradáveis, tem grande seletividade, e relevante possibilidade para ser utilizado em programas de rotação de inseticidas para minimizar a emergência de insetos resistentes (Pontual *et al.* 2014, Benelli *et al.* 2015, Isman 2020).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, a produção de tomate para o ano de 2020 foi estimada em 4,3 milhões de toneladas, com área plantada de mais de 79 milhões de hectares (IBGE 2019, IBGE 2020). Contudo, seu cultivo e produtividade são comprometidos por problemas fitossanitários causados por insetos praga. A broca pequena do tomateiro, *Neoleucinodes elegantalis* Guenée (Lepidoptera: Crambidae), é uma das mais relevantes pragas para a produção de tomate na América do Sul. As fêmeas depositam seus ovos abaixo das sépalas dos frutos verdes, depois de eclodirem, as lagartas perfuram os frutos e permanecem em seu interior até completarem seu desenvolvimento, se alimentando do mesocarpo e endosperma.

Portanto, a praga fica protegida no interior do fruto, e pode causar danos de mais de 90% ao final da produção (Gravena & Benvenga 2003, Picanço *et al.* 2007, Montilla *et al.* 2013, EPPO 2015, Silva *et al.* 2016, Silva *et al.* 2018).

O comportamento biológico de habitar e se desenvolver no interior dos frutos torna difícil o controle da praga, reduzindo as possibilidades de produtos viáveis para o manejo. Isso explica a alta frequência de aplicações de inseticidas sintéticos em plantações de tomate (Badji *et al.* 2003, Fragoso *et al.* 2021). No Brasil, cerca de 102 inseticidas são registrados para o controle de *N. elegantalis* em plantios de tomate (Silva *et al.* 2018, AGROFIT 2021). Contudo, apesar de existir um grande número de inseticidas registrados para o controle, as plantações continuam apresentando grandes perdas anualmente nas produções de tomate. Além disso, o uso de inseticidas sintéticos é de alto custo, tem potencial de prejudicar o agroecossistema e constantemente seleciona populações de insetos resistentes (Omoto 2000, Benvenga *et al.* 2010).

Os óleos essenciais de *Origanum majorana* L. (Lamiaceae) e *Copaifera officinalis* L. (Fabaceae) vem demonstrando bioatividade em um grande número de espécies de insetos com importância econômica (Benelli *et al.* 2017, Demirel & Erdogan 2017). Contudo, mesmo com o grande número de pesquisas investigando a ação inseticida desses óleos em pragas agrícolas, para *N. elegantalis* os seus efeitos ainda são desconhecidos. Portanto pesquisas com esse objetivo são extremamente importantes para elucidar o potencial inseticida que esses óleos essenciais podem exercer, bem como, avaliar o seu uso em associação com inseticidas sintéticos, visando reduzir os custos da produção e os danos ao meio ambiente (Isman 2008). Outro aspecto analisado é que pequenos produtores também realizam o cultivo de tomate, e esse tipo de controle é economicamente viável, e não necessita de grandes recursos quando comparado com os métodos comumente utilizados (Picanço *et al.* 2004).

O sistema reprodutivo dos insetos é capaz de perpetuar a espécie. Em insetos holometabólicos, como lepidópteros, interferência em sua fase imatura pode resultar em mudanças que afetam de forma severa parâmetros nos adultos, como a longevidade, oviposição, bem como a formação das suas estruturas sexuais (Sâmia *et al.* 2016, Ataíde *et al.* 2020). Por vezes, as gônadas de insetos praga tem sido um alvo para a avaliação de compostos bioativos que agem na reprodução e auxiliam no manejo da praga (Alves *et al.* 2014, Cruz *et al.* 2015, Silva *et al.* 2016).

Com isso, essa pesquisa objetivou avaliar os efeitos dos óleos essenciais de *C. officinalis* e *O. majorana* sobre a histologia e histoquímica de gônadas de *N. elegantalis* em comparação com os produtos formulados Decis® e Azamax®, recomendados para o controle da broca pequena do tomateiro. Esse parâmetro foi escolhido porque interfere no estabelecimento da praga na cultura.

Material e Métodos

O presente estudo foi desenvolvido no Laboratório de Ecologia Química no Departamento de Química fundamental da Universidade Federal de Pernambuco (DQF-UFPE), e no Laboratório de Histologia e Fisiologia de Insetos no Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal (DMFA), e no Centro de Apoio à Pesquisa (CENAPESQ) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, Pernambuco, Brasil.

Plantio de Tomate. Para usar frutos de tomate para a criação e experimentos, foi plantado a cultivar Yoshimatsu. As mudas foram produzidas em bandejas de polietileno com 128 células e o transplântio foi realizado após 29 dias da semeadura, quando as plantas apresentavam quatro folhas definitivas, em média. Nesse momento, foram transplantadas na Horta do Departamento de Agronomia da UFRPE, utilizando um espaçamento de 1,0 m x 0,5 m, onde receberam tratamento cultural padrão, como poda, amarração e fertilização.

Criação de *Neoleucinodes elegantalis*. Para começar a criação da praga em laboratório, frutos de tomates infestados foram coletados de plantações nas cidades de Camocim de São Félix (8°21'31" S e 35°45'43" O) e Bezerros (8°14'00" S e 35°47'49" O), em Pernambuco, Brasil. Os frutos de tomate foram levados para o Laboratório de Fisiologia de Insetos da UFRPE e foram colocados em bandejas de plástico cobertas com papel toalha e voil até as lagartas alcançarem o último instar larval, quando deixam o fruto, passando para o estágio de pupa. Em seguida, as pupas foram colocadas em gaiolas de madeira e organza (60 x 60 x 60 cm) até a emergência dos adultos, que foram alimentados com uma solução de sacarose a 10%. Frutos de tomate verde de aproximadamente 3 cm de diâmetro, da variedade Yoshimatsu, foram oferecidos para oviposição em recipientes de plástico (500 mL) contendo água, trocada diariamente. Folhas de tomate foram utilizadas para estimular a oviposição. Os ovos foram transferidos para frutos de jiló orgânico (obtido a partir de estabelecimentos comerciais) de aproximadamente 7 cm de comprimento. Os frutos foram mantidos em bandejas plásticas coberto com papel toalha por cerca de 15 dias, até que as lagartas atingissem o último instar larval, quando eles abandonam os frutos e passam para o estágio de pupa no papel toalha. A criação de *N. elegantalis* foi mantida em 26°C ± 2 °C e 70% ± 10% de umidade relativa, com fotofase de 12 h.

Obtenção de Óleos Essenciais e Inseticidas Formulados. Os óleos essenciais de *C. officinalis* e *O. majorana*, usado nos experimentos, foram obtidos da empresa Ferquima Ind. e Com. Ltda. (Vargem Grande Paulista, São Paulo, Brasil). A informação técnica desses produtos e seus parâmetros de qualidade (cor, pureza, odor, densidade a 20 °C) estão descritas em informe técnico no site da empresa < <http://ferquima.com.br> >.

Os inseticidas azadiractina (Azamax[®]) e deltametrina (Decis[®]) foram adquiridos de distribuidora de pesticidas em Recife-PE. Azamax[®] é um inseticida natural do grupo dos tetranotriterpenoides com ação repelente e inseticida, por inibição da alimentação e crescimento do

inseto (AGROFIT 2021). Por sua vez, Decis[®] é um inseticida de contato e ingestão do grupo dos piretróides (AGROFIT 2021).

Cromatografia Gasosa de Massa-Análise Espectrometria de Massa (CG-EM) dos óleos essenciais. As análises da composição química dos óleos essenciais foram realizadas no Laboratório de Ecologia Química da Universidade Federal de Pernambuco. As análises utilizaram cromatografia a gás (CG) acoplada à espectrometria de massas (EM) em um sistema quadruplo Agilent 5975C Series CG/EM (Agilent Technologies, Palo Alto, EUA), equipado com uma coluna apolar DB-5 (Agilent J&W; 60 m x 0,25 mm d.i., 0,25 µm espessura da película). A solução de 1,0 µL (2000 µg/mL) de cada óleo essencial diluído em hexano foi injetada em split 1:50, assim como a solução hexânica da mistura de padrões de hidrocarbonetos C9-C34 (Sigma-Aldrich[®]). A temperatura do CG foi ajustada em 60°C por 3 minutos, e em seguida aumentada 2,5 °C min⁻¹ até alcançar 240 °C, que foi mantido por 10 minutos. O fluxo de hélio foi mantido em pressão constante de 100 kPa. A interface do EM foi definido em 200°C e os espectros de massa registrados em 70 eV (em modo EI), com uma velocidade de escaneamento de 0,5 scan-s de m/z 20-350 (Santos *et al.* 2014). Os constituintes dos óleos essenciais foram quantificados através da CG em um sistema Thermo Fisher Scientific (Waltham, MA, USA) Trace CG Ultra gás equipado com um detector de ionização por chama (DIC), com uma coluna HB-5 (30 m x 0,25 mm d.i., 0,25 µm de espessura da película). A temperatura do forno foi mantida a 40 °C durante 2 min e depois aumentada a 4 °C min⁻¹ para 230 °C. O injetor e o detector foram mantidos a 250 °C. Para realizar a quantificação, 1 µL da solução (2000 µg/mL) de cada óleo essencial preparada em hexano foi injetada em splitless. A composição de cada componente foi expressa na forma de percentagens da área total do pico conforme registrado por CG-FID. Os Índices de Retenção (IR) de cada componente dos óleos essenciais foram calculados segundo a equação de Van den Dool & Kratz (1963), de acordo com os tempos de retenção dos componentes da amostra de cada óleo essencial,

do padrão de hidrocarboneto (C9-C34) e da combinação de cada óleo essencial com a mistura deste padrão. Os componentes de cada óleo essencial foram previamente identificados por similaridade dos valores dos índices de retenção (IR) e posteriormente confirmados por comparação dos respectivos espectros de massa com aqueles disponíveis na biblioteca do CG/EM: MassFinder 4, NIST08 e Wiley Registry™ 9th Edition e com os descritos por Adams (2009).

Bioensaios. Testes de solubilidade foram feitos para identificar o melhor diluente para cada óleo. Os diluentes utilizados foram acetona, álcool etílico e DMSO (Dimethyl Sulfoxide) e os óleos essenciais foram *C. officinalis* e *O. majorana*. Os diluentes foram misturados com o óleo e água destilada (1mL de diluente + 0,1 mL do óleo + 100 mL de água destilada). Em seguida, os resultados da homogeneidade das várias soluções foram observados. Os melhores diluentes para os óleos de *C. officinalis* e *O. majorana* foram acetona e DMSO, respectivamente.

Os bioensaios foram realizados com adultos de 48 h de idade, após a emergência. Os tratamentos consistiram em diluir o óleo de *C. officinalis* em acetona e diluir o óleo de *O. majorana* em dimethyl sulfoxide (DMSO), nas concentrações letais (CL₄₅) de 666,34 e 528,37 mg/L, respectivamente (Santana *et al.* 2022). Para o inseticida botânico azadiractina (Azamax® 0,6 mg/L) e o inseticida piretróide deltametrina (Decis® 12,5 mg/L) a dose recomendada pelo fabricante para a plantação para o controle de *N. elegantalis* foi tida como base. Os adultos foram imobilizados a baixa temperatura (4 °C) e pulverizado com as respectivas concentrações de cada produto. Cada tratamento consistiu em 40 adultos e o biensaio de controle foi tratado somente com acetona. Após os tratamentos, os insetos foram colocados em gaiolas e alimentados com solução de sacarose a 10 %, e 48 h após a aplicação dos produtos, os adultos foram dissecados.

Análises Histológicas e Histoquímicas das Gônadas de Adultos de *N. elegantalis*. Para os tratamentos foram utilizados adultos após 48h de exposição para as análises histológicas e histoquímicas das gônadas. Eles foram imobilizados a temperatura de 4 °C e dissecados sob um

estereomicroscópio. Foram coletados 10 ovários e 10 testículos e fixados em formaldeído a 10 % por 24 h e preservado em álcool 70 %. Os ovários e testículos foram desidratados em banhos de álcool etílico (70 – 100 %) por 10 minutos cada, em seguida eles foram embebidos em solução de álcool + historesina (1:1 v/v) por um período de 24 horas e, por fim, incluídos em historesina pura (Leica®). Seções de cortes de 5 µm de espessura foram obtidas usando micrótomo semiautomático Leica® 2035. O material obtido foi submetido à coloração Azul de Toluidina para as análises morfológicas dos órgãos, e a coloração ácido periódico de Schiff (PAS) para detectar polissacarídeos neutros (Junqueira & Junqueira 1983), e a coloração Xylidine Ponceau para detectar proteínas totais (Pearse 1960). Todas as lâminas foram examinadas usando fotomicroscópio Leica®. As imagens foram captadas e digitalizadas pelo software LAS Leica Image.

Quantificação Média de Polissacarídeos Neutros e Proteínas Totais em Adultos de *N. elegantalis*. As imagens capturadas das gônadas dos adultos de *N. elegantalis* foram submetidas ao GIMP® 2.8 programa editor de imagem (GNU Image Manipulation Program, plataforma UNIX) que converte as imagens digitais em uma escala de cinza (preto e branco). Essa segmentação de cores facilita a medição do número de pixels relacionado à marcação selecionada no tecido (Solomon 2009). Para cada análise histoquímica, três lâminas de diferentes indivíduos foram utilizadas, com quatro campos de cada análise que está sendo medida, totalizando 12 campos por grupo. Os resultados para carboidrato e teores de proteína foram submetidos a teste não paramétrico de Kruskal-Wallis a 5% nível de significância usando o SAS Institute Program.

Resultados

Composição Química dos Óleos Essenciais de *Origanum majorana* e *Copaifera officinalis*. A composição do óleo de *C. oficinallis* (Tabela 1), apresentou um total de 30 compostos,

representando 98,6% do óleo. Os compostos majoritários indentificados foram E-caryophyllene (53,89 %), α -humulene (8,73 %), e E- α -bergamotene (7,79 %). No óleo de *O. majorana*, foram identificados um total de 22 compostos (Tabela 2), representando 100% da sua composição. Os compostos majoritários foram terpine-4-ol (25,97 %), e-sabinene hydrate (15,19 %) e γ -terpinene (13,67%). A maioria dos compostos em ambos os óleos essenciais pertencem ao grupo químico dos terpenos e são classificados como monoterpenos e sesquiterpenos.

Análise Histológica das Gônadas de *N. elegantalis*. No grupo controle, os ovários de *N. elegantalis* são cobertos por uma bainha de tecido conjuntivo e contém uma região com muito vitelo. Nos ovários tratados com *C. officinalis*, *O. majorana*, Decis[®] e Azamax[®], o mesmo padrão foi observado. Contudo, nos ovários dos insetos tratados com *O. majorana*, houve uma redução na quantidade de vitelo (Figura 1).

Os testículos de *N. elegantalis* no grupo controle apresentou tecido conjuntivo de revestimento com abundância de cistos com espermatozoides. Os testículos oriundos de adultos tratados exibiram o mesmo padrão que o do grupo controle. Contudo, nos testículos dos insetos tratados com *O. majorana* espaços vazios, sem estar preenchido de espermatozoides foram observados (Figura 2).

Análises Histoquímicas das Gônadas de *N. elegantalis*. Análises histoquímicas detectou uma reação positiva para o Ácido Periódico de Schiff nos ovários dos adultos nos grupos controle e tratamentos (Figura 3A-E), mostrando que todos os produtos reduziram os níveis de polissacarídeos neutros. Contudo, Azamax[®] causou a melhor redução ($\chi^2 = 36,01$; $P < 0,0001$) (Figura 3F). Na detecção de proteínas por Xylidine Ponceau todos os grupos mostraram coloração positiva nos ovários (Figura 4A-E), com redução no conteúdo de proteínas em todos os tratamentos. O óleo de *O. majorana* e Azamax[®] causaram a mais significativa redução ($\chi^2 = 33,12$; $P < 0,0001$) (Figura 4F).

Nos testículos dos adultos de *N. elegantalis* houve uma reação positiva ao PAS (Figura 5A-E). Todos os tratamentos reduziram o conteúdo de carboidratos nesses órgãos. Contudo, aqueles tratados com *O. majorana* e Decis® mostraram uma maior redução ($\chi^2= 33,71$; $P < 0,0001$) (Figura 5F). Na detecção de proteínas por Xylidine Ponceau, ambos os grupos controle e tratamento mostraram coloração positiva nos testículos dos adultos (Figura 6A-E). Os grupos tratados com Decis® e Azamax® causaram redução nos níveis de proteínas dessas gônadas ($\chi^2= 19,06$; $P= 0,0008$) (Figura 6F).

Discussão

Os óleos essenciais são constituídos de compostos bioativos que tem diferentes modos de ação e diferentes sítios de ação, o que aumenta sua atividade inseticida devido à ação sinérgica entre seus constituintes (Pauliquevis & Favero 2015, Mossa 2016). Lipofilicidade, variações de tamanho, nas formas das moléculas e no tipo de grupo funcional, são características que influenciam a eficiência dos óleos (Castilhos *et al.* 2017). Isso pode alterar a fisiologia dos insetos, resultando, por exemplo, em uma interrupção no processo reprodutivo, como a oogênese, vitelogênese, na maturação e crescimento dos espermátócitos, assim como disfunção bioquímica e mortalidade (Lee *et al.* 2001, Castilhos *et al.* 2017).

Terpenos são os constituintes mais abundantes nos óleos essenciais e pode reduzir a capacidade reprodutiva dos insetos (Zuarte & Salgueiro 2015). Todos os compostos presentes nos óleos estudados nesta pesquisa pertencem a este grupo. Terpinen-4-ol, E-sabinene hydrate, γ -terpinene, α -terpinene, Z-sabinene hydrate e sabinene são os compostos majoritários de *O. majorana*, e são classificados como monoterpenos. Enquanto isso, E-caryophyllene, α -humulene, E- α -bergamotene, α -copaene e δ -cadiene são detectados como os compostos majoritários de *C. officinalis*, e são classificados como sesquiterpenos.

Os monoterpenos Terpinen-4-ol e γ -terpinene, identificados como compostos majoritários no óleo essencial de *O. majorana*, são amplamente conhecidos por sua atividade biocida (Demirel & Erdogan 2017). De acordo com Abbassy *et al.* (2009) essa bioatividade exibem significante potencial inseticida sobre lagartas de quarto instar de *Spodoptera costalis* (Boisd.) (Lepidoptera: Noctuidae) e adultos de *Aphis fabae* Scopoli (Hymenoptera: Aphididae), e γ -terpinene é considerado o mais tóxico. Quando testado em mistura binária com inseticidas sintéticos Profenofos e Methomyl, ambos os compostos aumentaram a ação inseticida duas a três vezes. O uso da mistura em vez de um único produto de acordo com Isman (1997), interfere com o desenvolvimento de resistência pela praga, pois é mais difícil desintoxicar um complexo de substâncias do que apenas uma ou poucos componentes. Além disso, a mistura pode apresentar mais de um modo de atividade e múltiplos sítios de ação, agindo na fisiologia, e em parâmetros comportamentais, demonstrando que os óleos essenciais podem contribuir com uma possível formulação para o controle de insetos praga.

Benelli *et al.* (2017) atribui a toxicidade do óleo essencial de *C. officinalis* ao composto α -humulene (CL_{50} = 20,86 μ g/mL) quando administrado por ingestão por *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae). Esse óleo essencial é descrito na literatura como fonte promissora de moléculas tóxicas para insetos vetores, como *Aedes aegypti* e *Anopheles darlingi* (Diptera: Culicidae) (Sharma *et al.* 2011, El-Sherbini *et al.* 2014, Prophiro *et al.* 2012, Trindade *et al.* 2013), e nossos resultados destacam distúrbios histofisiológicos em *N. elegantalis*. Esses dados são similares aos encontrados por Silva *et al.* (2016), que relatou uma menor quantidade de vitelo e uma redução nos carboidratos neutros e proteínas nas gônadas de *S. frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) quando tratada com *Cymbopogon winterianus* (Poaceae). Os autores atribuíram esse efeito ao citrionelol, que é o composto majoritário desse óleo.

Nos ovários dos insetos, o vitelo consiste em proteínas longas intercaladas com pequenas partículas de lipídio e glicogênio. O desenvolvimento do vitelo utiliza as reservas de proteínas, lipídios e carboidratos armazenadas no período larval e pupal (Telfer 2009). Portanto, a maturação sexual de lepidópteros depende de nutrientes adquiridos durante seus estágios imaturos (Alves *et al.* 2014). Presumivelmente, a redução do vitelo causada pelos óleos essenciais e pelos produtos formulados nos ovários de *N. elegantalis* foi induzida por condições de stress na fisiologia, promovida por esses produtos. Resultados semelhantes foram verificados por Ghazaway *et al.* (2007), onde eles observaram alterações histofisiológicas nos ovários de *Heteracris littoralis* Ramb (Orthoptera: Acrididae) quando tratado com azadiractina, mostrando uma redução de vitelo nos oócitos. Esses resultados também são comparáveis com a redução de vitelo no oócito de *S. gregaria* tratado com inseticida sintético lufenuron (Ghazawai 2005), demonstrando que os óleos essenciais utilizados nesse estudo são eficientes quando comparados com inseticidas sintéticos.

A redução de esperma nos testículos de adultos de *N. elegantalis* causada pelos óleos essenciais e pelos produtos formulados é similar a redução de esperma verificada por Alves *et al.* (2014) usando óleo de *Piper hispidinervum* em *S. frugiperda*. De acordo com Ghazawai *et al.* (2005), altas concentrações de azadiractina previne a formação de cistos pelas espermatogônias e os espermátocitos são incapazes de fazer suas divisões normais e completar a espermatogênese. Por outro lado, em menores concentrações, o processo de formação do espermátocito continua até o aparecimento dos feixes de esperma, mas com deformações e degenerações.

O óleo essencial de *O. majorana* apresentou maior atividade, pois ocasionou redução do vitelo nos ovários e promoveu a formação de vacúolos não preenchidos por espermatozoides nos testículos. Esse fato foi devido à abundância dos monoterpenos, que tem propriedades lipofílicas e podem ser capazes de promover alterações no metabolismo e fisiologia dos insetos (Cox *et al.*

2000, Inoue *et al.* 2004). Esta propriedade química pode explicar a eficiência do óleo de *O. majorana* nas mudanças histofisiológicas.

Alterações histológicas nos ovários e testículos podem causar uma queda na fecundidade e fertilidade, promovendo uma redução na população e mantendo eles em um nível em que não justifica a adoção de medidas de controle, reduzindo os custos de produção (Cruz *et al.* 2015, Silva *et al.* 2016). O estado nutricional é outro fator que influencia diretamente no fitness reprodutivo em insetos holometabólicos, como a maturação sexual depende da quantidade e da qualidade de nutrientes adquirida durante o estágio imaturo (Alves *et al.* 2014). Carboidratos, por exemplo, são requeridos em vários processos metabólicos; participa no desenvolvimento cuticular e nas estruturas reprodutivas, e no processo pré-vitelogênico. Além do mais, eles agem como fonte de energia para o inseto (Arrese *et al.* 2010, Chapman 2013).

Além disso, proteínas são de grande importância para o funcionamento do metabolismo dos insetos. Elas participam na estrutura do tegumento, na síntese de hormônios e enzimas e torna o corpo gorduroso capaz de sintetizar a vitelogenina, a principal proteína que constitui o vitelo e é necessário para o sucesso reprodutivo das fêmeas (Kunkel & Nordin 1985, Klowden 2007). A redução das proteínas é provavelmente devido à interferência causada por bioativos presentes em inseticidas botânicos, atuando nos hormônios que regulam a síntese de proteínas (Senthilkumar *et al.* 2009). A redução nas proteínas, carboidratos, vitelo e esperma observados em *N. elegantalis* infere que essas alterações histoquímicas causadas pelos óleos essenciais e produtos formulados afeta diretamente e negativamente a vitelogênese e a espermatogênese, comprometendo as atividades reprodutivas (Sharma *et al.* 2011).

Considerações Finais

Embora não expresse letalidade direta sobre o inseto tratado, doses subletais causam efeitos secundários nas gônadas como observado nesta pesquisa. Estes podem ser de grande importância para programas de manejo de pragas, pois ao interferir com a gametogênese, os bioativos afetam a quantidade e qualidade da prole, e conseqüentemente, afeta os efeitos deletérios e econômicos no produto final.

Portanto, as alterações histopatológicas observadas neste estudo demonstram que moléculas botânicas podem interferir com parâmetros reprodutivos dos insetos-praga. Então, mais estudos podem apoiar a hipótese de que efeitos deletérios sobre as gônadas de insetos economicamente importantes podem ser benéficos para o seu controle.

Agradecimentos

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo de Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) por financiar esta pesquisa.

Literatura Citada

- Abbassy, M.A., S.A.M. Abdelgaleil & R.Y.A. Rabie. 2009.** Insecticidal and synergistic effects of *Majorana hortensis* essential oil and some of its major constituents. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 131 (3): 225–232.
- Adams, R.P. 2009.** Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry. Carol Stream, IL, Allured Publishing Co.
- AGROFIT. 2021.** Sistemas de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em 2021 <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>.
- Alves, T.J.S., G.S. Cruz, V. Wanderley-Teixeira, Á.A.C. Teixeira, J.V. Oliveira, A.A. Correia, C.A.G. Câmara & F.M. Cunha. 2014.** Effects of *Piper hispidinervum* on spermatogenesis

and histochemistry of ovarioles of *Spodoptera frugiperda*. Biotechnic Histochemistry, 89 (4):1-11.

Arrese, E.L., A.D. Howard, R.T. Patel, O.J. Rimoldi & J.L. Soulages. 2010. Mobilization of lipid stores in *Manduca sexta*: cDNA cloning and developmental expression of fat body triglyceride lipase, TGL. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 40 (2): 91-99.

Ataide, J.O., H.B. Zago, H.J.G. Santos Júnior, L. Menini & J.R. Carvalho. 2020. Acute toxicity, sublethal effect and changes in the behavior of *Lasioderma serricorne* Fabricius (Coleoptera: Anobiidae) exposed to major components of essential oils. Research Society and Development, 9 (8): e170985581.

Badji, C.A., A.E. Eiras, A. Cabrera & K. Jaffe. 2003. Avaliação do feromônio sexual de *Neoleucinodes elegantalis* Guenée (Lepidoptera: Crambidae). Neotropical Entomology, 32 (2): 221-229.

Benelli, G. 2015. Research in mosquito control: current challenges for a brighter future. Parasitology Research, 114 (8): 2801- 2805.

Benelli, G., S. Bedini, F. Cosci, C. Toniolo, B. Conti & M. Nicoletti. 2015. Larvicidal and ovideterrent properties of neem oil and fractions against the filarial vector *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae): a bioactivity survey across production sites. Parasitology Research, 114 (1): 227-236.

Benelli, G., M. Govindarajan, M. Rajeswary, B. Vaselharan, S.A. Alyahya, N.S. Alyarbi, S. Kadaikunnan, J.M. Khaled & F. Maggi. 2017. Insecticidal activity of camphene, zerbene and α -humulene from *Cheilocostus speciosus* rhizome essential oil against the Old-World bollworm, *Helicoverpa armigera*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 148: 781-786.

Benvenga, S.R., S.A. Bortoli, S. Gravena & J.C. Barbosa. 2010. Monitoramento da broca-pequena-do-fruto para tomada de decisão de controle em tomateiro estaqueado. Horticultura Brasileira, 28 (4): 435-440.

Castilhos, R.V., A.D. Grützmacher & J.R. Coats. 2017. Acute toxicity and sublethal effects of terpenoids and essential oils on the predator *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae). Neotropical Entomology, 47 (2): 311-317.

Chapman, R.F. 2013. The insects: structures and function. Cambridge, Cambridge University Press.

Cox, S.D., C.M. Mann, J.L. Markham, H.C. Bell, J.E. Gustafson, J.R. Warmington & S.G. Wyllie. 2000. The mode of antimicrobial action of the essential oil of *Melaleuca alternifolia* (tea tree oil). Journal of Applied Microbiology, 88 (1): 170-175.

Cruz, G.S., V. Wanderley-Teixeira, J.V. Oliveira, Á.A.C. Teixeira, A. C. Araújo, T.J.S. Alves, F.M. Cunha & M.O. Breda. 2015. Histological and histochemical changes by cloves

essential oil upon the gonads of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). International Journal Morphology, 33 (4): 1393-1400.

Demirel, N. & C. Erdogan. 2017. Insecticidal effects of essential oils from Labiatae and Lauraceae families against cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) in stored pea seeds. Entomology and Applied Science Letters, 4 (1): 13-19.

Desneux, N., A. Decourtye & J.M. Delpuech. 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. Annual Review of Entomology, 52: 81-106.

El-Sherbini, G.T., E.T. El- Sherbini & N.O. Hanykamel. 2014. Insecticidal activities of sweet marjoram (*Origanum majorana* L.) against *Pediculus humanuscapitis* (Anoplura: Pediculidae). International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 3 (11): 695-707.

EPPO, *Neoleucinodes elegantalis*. 2015. Bulletin OEPP/EPPO Bulletin, 45 (1): 9-13.

Fragoso, D.F.M., A.C. Túler, D. Pratissoli, J.R. Carvalho, W.R. Valbon, V.T. Queiroz, P.F. Pinheiro, A.V. Costa & R.C.O.F. Bueno. 2021. Biological activity of plant extracts on the small tomato borer *Neoleucinodes elegantalis*, an important pest in the Neotropical region. Crop Protection, 145: 105606.

Ghazawai, N.A. 2005. Some basic histological and biochemical changes due to the treatment of the grasshopper *Heteracris littoralis* Ramb. (Orthoptera: Acrididae) with azadirachtin, - Ph.D Thesis, Entomology department, Faculty of Science, Cairo University, 104 p.

Ghazawy, N.A., E.D. El-Shranoubi, M.M. El-Shazly & K.M. Abdel Rahman. 2007. Effects of azadirachtin on mortality rate and reproductive system of the grasshopper *Heteracris littoralis* Ramb. (Orthoptera: Acrididae). Journal of Orthopaedic Research, 16 (1): 57-65.

Gravena, S. & S.R. Benvenga. 2003. Manual prático para manejo ecológico de pragas do tomate. Jaboticabal, Gravena-ManEcol LTDA.

Hummelbrunner, L.A. & M.B. Isman. 2001. Acute, sublethal, antifeedant, and synergistic effects of monoterpenoid essential oil compounds on the tobacco cutworm, *Spodoptera litura* (Lep. Noctuidae). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49 (2): 715-720.

IBGE. 2019. Levantamento sistemático da produção agrícola. Levant. Sistem. Prod. Agríc. Setembro, 2019.

IBGE. 2020. Levantamento sistemático da produção agrícola. Levant. Sistem. Prod. Agríc. Abril, 2020.

Inoue, Y., A. Shiraishi, T. Hada, K. Hirose, H. Hamashima & J. Shimada. 2004. The antibacterial effects of terpene alcohols on *Staphylococcus aureus* and their mode of action. FEMS Microbiology Letters, 237 (2): 325-331.

- Isman, M.B. 1997.** Neem and other botanical insecticides: Barriers to commercialization. *Phytoparasitica*, 25 (4): 339-344.
- Isman, M.B. 2008.** Botanical insecticides: for richer, for poorer. *Pest Management Science*, 64 (1): 8-11.
- Isman, M.B. 2020.** Botanical insecticides in the twenty-first century - fulfilling their promise? *Annual Review Entomology*, 65 (1): 233-249.
- Junqueira, L.C.U. & L.M.M.S. Junqueira. 1983.** Técnicas básicas de citologia e histologia, São Paulo, Guanabara Koogan, 8(3).
- Klowden, M.J. 2007.** Physiological Systems in Insects. New York, Academic Press.
- Kunkel, J.G. & J.H. Nordin. 1985.** Yolk Proteins. In: G.A. Kerkut & L.I. Gilbert (eds.), *Comprehensive insect physiology, biochemistry and pharmacology*, Pergamon Press, Oxford. p. 83-111.
- Lee, B.H., W.S. Choi, S.E. Lee & B.S. Park. 2001.** Fumigant toxicity of essential oils and their constituent compounds towards the rice weevil, *Sitophilus oryzae* (L.). *Crop Protection*, 20 (4): 317-320.
- Montilla, A.E.D., M.A. Solis & T. Kondo. 2013.** The tomate fruit borer, *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae) an insect pest of neotropical solanaceous fruits. In: J.E. Peña (ed.), *Potential invasive pests of agriculture crops*, CABI. p. 137-159.
- Mossa, A.T.H. 2016.** Green pesticides: Essential oils as biopesticides in insect-pest management. *International Journal of Environmental Science Technology*, 9 (5): 354-378.
- Omoto, C. 2000.** Modo de ação de inseticidas e resistência de insetos a inseticidas. In: J.C. Guedes, I.D. Costa & E. Castiglioni (eds.), *Bases e técnicas do manejo de insetos*, UFSM/CCR/DFS, Santa Maria. p. 31-50.
- Park, Y.L. & J.H. Tak. 2016.** Essential oils for arthropod pest management in agricultural productions systems. In: V.R. Preedy (ed.), *Essential oils in food preservation, flavor and safety*, Academic Press, Massachusetts, EUA. p. 61-70.
- Pauliquevis, C.F. & S. Favero. 2015.** Atividade insetistática de óleo essencial de *Pothomorphe umbellata* sobre *Sitophilus zeamais*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19 (12): 1192-1196.
- Pavela, R., F. Maggi, R. Petrelli, L. Cappellacci, M. Buccioni, A. Palmieri, A. Canale & G. Benelli. 2020.** Outstanding insecticidal activity and sublethal effects of *Carlina acaulis* root essential oil on the housefly, *Musca domestica*, with insights on its toxicity on human cells. *Food and Chemical Toxicology*, 136: 111037.

- Pearse, A.G.E. 1960.** Histochemistry: Theoretical and Applied, London, J & A Churchill LTD, 931p.
- Picanço, M.C., S.V. Paula, A.R. Moraes Júnior, L.R. Oliveira, A.A. Semeão & J.F. Rosado. 2004.** Impactos financeiros da adoção de manejo integrado de pragas na cultura do tomateiro. *Acta Scientiarum*, 26 (2): 245-252.
- Picanço, M.C., L. Bacci, E.M. Silva, E.G.F. Moraes, G.A. Silva & N.R. Silva. 2007.** Manejo integrado das pragas do tomateiro no Brasil. In: D.J.H. Silva & F.X.R. Vale (eds.), *Tomate: tecnologia de produção*, UFV, Viçosa, 199-232.
- Pontual, E.V., N.D.L. Santos, M.C. Moura, L.C.B.B. Coelho, D.M.A.F. Navarro, T.H. Napoleão & P.M.G. Paiva. 2014.** Trypsin inhibitor from *Moringa oleifera* flowers interferes with survival and development of *Aedes aegypti* larvae and kills bacteria inhabitant of larvae midgut. *Parasitology Research*, 113 (2): 727-733.
- Prophiro, J.S., M.A.N. Silva, L.A. Kanis, L.C.B.P. Rocha, J.E. Duque-Luna & O.S. Silva. 2012.** First report on susceptibility of wild *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) using *Carapa guianensis* (Meliaceae) and *Copaifera sp.* (Leguminosae). *Parasitology Research*, 110 (2): 699-705.
- Sâmia, R.R., R.L. Oliveira, V.F. Moscardini & G.A. Carvalho. 2016.** Effects of aqueous extracts of *Copaifera langsdorffii* (Fabaceae) on the growth and reproduction of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotropical Entomology*, 45 (5): 580-587.
- Santana, M.L.G., V.W. Teixeira, C.A. Guedes, G.S. Cruz, M.C.N. Ferreira, K.A. Dutra, D.M.A.F. Navarro, R.S.M. Garcia, C.J.C.L. Neto, J.W.S. Melo & Á.A.C. Teixeira. 2022.** Sublethal effects of some essential oils on the nutrition and biological parameters of *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae) and its selectivity to *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *International Journal of Tropical Insect Science* 42: 3609–3621.
- Santos, G.K.N., K.A. Dutra, C.S. Lira, B.N. Lima, T.H. Napoleão, P.M.G. Paiva, C.A. Maranhão, S.S.F. Brandão & D.M.A.F. Navarro. 2014.** Effects of *Croton rhamnifolioides* essential oil on *Aedes aegypti* oviposition, larval toxicity and trypsin activity. *Molecules* 19: 16573-16587.
- Senthilkumar, N., P. Varma & G. Gurusubramanian. 2009.** Larvidal and adulticidal activities of some medicinal plants against the Malarial Vector, *Anopheles stephensi* (Liston). *Parasitology Research*, 104 (2): 237-244.
- Sharma, P., L. Mohan, K.K. Dua & C.N. Srisvastava. 2011.** Status of carbohydrate and lipid profile in the mosquito larvae treated with certain phytoextracts. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 4 (4): 301-304.
- Silva, C.T.S., V. Wanderley-Teixeira, F.M. Cunha, J.V. Oliveira, K.A. Dutra, D.M.A.F. Navarro & Á.A.C. Teixeira. 2016.** Biochemical parameters of *Spodoptera frugiperda* (J. E.

Smith) treated with citronella oil (*Cymbopogon winterianus* Jowitt ex Bor) and its influence on reproduction. *Acta Histochemistry*, 118 (4): 347-352.

Silva, R.S., L.P. Arcanjo, J.R.S. Soares, D.O. Ferreira, J.E. Serrão, J.C. Martins, A.H. Costa & M.C. Picanço. 2018. Insecticide toxicity to the borer *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae): developmental and egg-laying effects. *Neotropical Entomology*, 47 (2): 318-325.

Solomon, R.W. 2009. Free and open source software for manipulation of digital images. *American Journal of Roentgenology*, 192 (6): 330-334.

Telfer, W.H. 2009. Egg formation in Lepidoptera. *Journal of Insect Science*, 9 (1): 1-21.

Trindade, F.T.T., R.G. Stabeli, A.A. Pereira, V.A. Facundo & A.A. Silva. 2013. *Copaifera multijuga* ethanolic extracts, oil resin, and its derivatives display larvicidal activity against *Anopheles darlingi* and *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 23 (3): 464–470.

Van Den Doll, H. & P.D.J.A. Kratz. 1963. Generalization of the retention index system include linera temperature programmed gas-liquid partition chromatography. *Journal of Chromatography*, 11: 464-471.

Zuzarte, M. & L. Salgueiro. 2015. Essential Oils Chemistry. In: D.P. Sousa (ed.), *Bioactive Essential Oils and Cancer*, Switzerland, Springer International Publishing. p. 19-61.

Tabela 1. Perfil químico do óleo essencial de *Copaifera officinalis*.

Nº	Composto	IR ^L 1	IR ^C 2	% 3
1	δ-Elemene	1335	1337	0,45
2	α-Cubebene	1348	1350	0,80
3	α-Ylangene	1373	1371	0,10
4	α-Copaene	1374	1376	5,34
5	β-Elemene	1389	1392	1,51
6	Cyperene	1398	1399	0,36
7	α-Gurjunene	1409	1410	0,05
8	E-Caryophyllene	1417	1421	53,89
9	β-Gurjunene	1431	1429	0,51
10	E-α-Bergamotene	1432	1436	7,79
11	Aromadendrene	1439	1444	0,35
12	<epi-β>Santalene	1445	1448	0,20
13	α-Humulene	1452	1454	8,73
14	allo-Aromadendrene	1458	1461	0,74
15	γ-Muurolene	1478	1477	2,43
16	Germacrene D	1480	1482	3,01
17	γ-Amorphene	1495	1498	1,86
18	α-Muurolene	1500	1500	0,86
19	β-Bisabolene	1505	1509	2,52
20	γ-Cadinene	1513	1515	1,33
21	δ-Cadinene	1522	1524	3,70
22	E-Cadina-1,4-diene	1533	1533	0,24
23	α-Cadinene	1537	1538	0,21
24	Caryolan-8-ol	1571	1571	0,34
25	Caryophyllenoxide	1582	1584	0,35
26	Junenol	1618	1620	0,35
27	<1-epi->Cubenol	1627	1630	0,06
28	Cubenol	1645	1644	0,14
29	α-Muurolol	1644	1648	0,16
30	α-Cadinol	1652	1657	0,22
Total				98,60

¹IR^L Índice de Retenção de Kratz da Literatura (Adams, 2009); ²IR^C Índice de Retenção de Kratz

Calculado; ³% Porcentagem do composto.

Tabela 2. Perfil químico do óleo essencial de *Origanum majorana*.

Nº	Composto	IR ^L 1	IR ^C 2	% 3
1	α - Thujene	924	924	0,65
2	α - Pinene	932	930	0,69
3	Sabinene	969	970	6,07
4	Myrcene	988	990	1,20
5	α - Phellandrene	1002	1002	0,38
6	α - Terpinene	1014	1014	8,29
7	o- Cymene	1022	1022	2,64
8	β - Phellandrene	1025	1026	3,85
9	y- Terpinene	1054	1057	13,67
10	Z- Sabinene hydrate	1065	1065	7,05
11	Terpinolene	1086	1087	2,74
12	E- Sabinene hydrate	1097	1096	15,19
13	Linalool	1095	1099	1,17
14	Z-p- Menth-2-en-1-ol	1118	1120	1,04
15	E-p- Menth-2-en-1-ol	1136	1138	0,76
16	Terpinene-4-ol	1174	1176	25,97
17	α - Terpeneol	1186	1189	3,04
18	Z-Piperitol	1195	1194	0,50
19	E-Piperitol	1207	1207	0,32
20	Linalool acetate	1254	1256	1,94
21	E- Caryophyllene	1417	1420	2,11
22	Bicyclogermacrene	1500	1497	0,74
Total				100,0

¹IR^L Índice de Retenção de Kratz da Literatura (Adams, 2009); ²IR^C Índice de Retenção de Kratz

Calculado; ³% Porcentagem do composto.

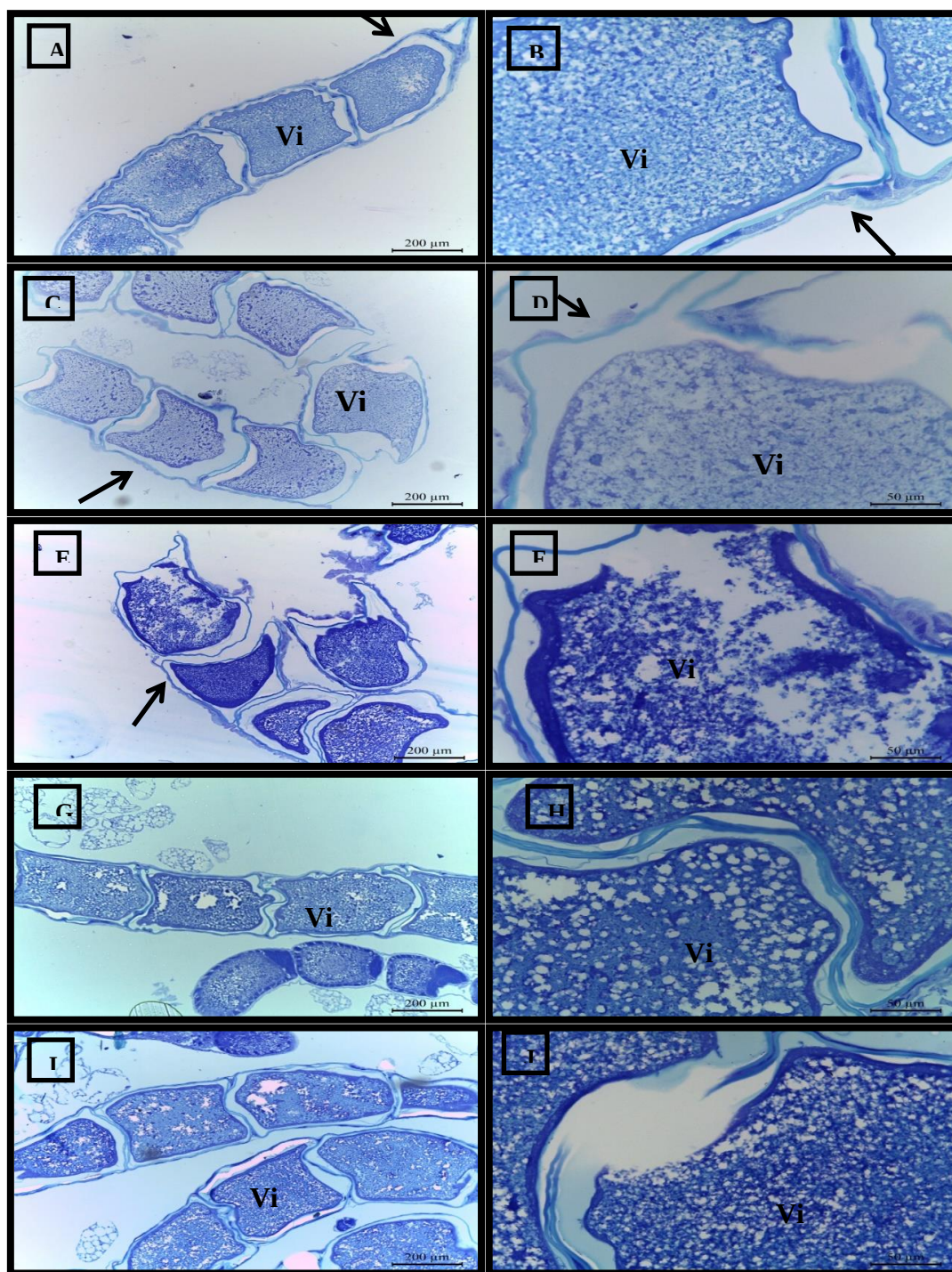


Figura 1. Seção longitudinal de ovaríolos de adultos de *Neoleucinodes elegantalis* pulverizado com a CL₄₅ dos óleos essenciais de *Copaifera officinalis* e *Origanum majorana*, e com as concentrações comerciais dos produtos formulados Decis® e Azamax®. A e B- Controle; C e D- *Copaifera officinalis*; E e F- *Origanum majorana*; G e H- Decis®; I e J- Azamax®. Coloração com Azul de Toluidina. Vitelo (Vi); Tecido conjuntivo (seta longa).

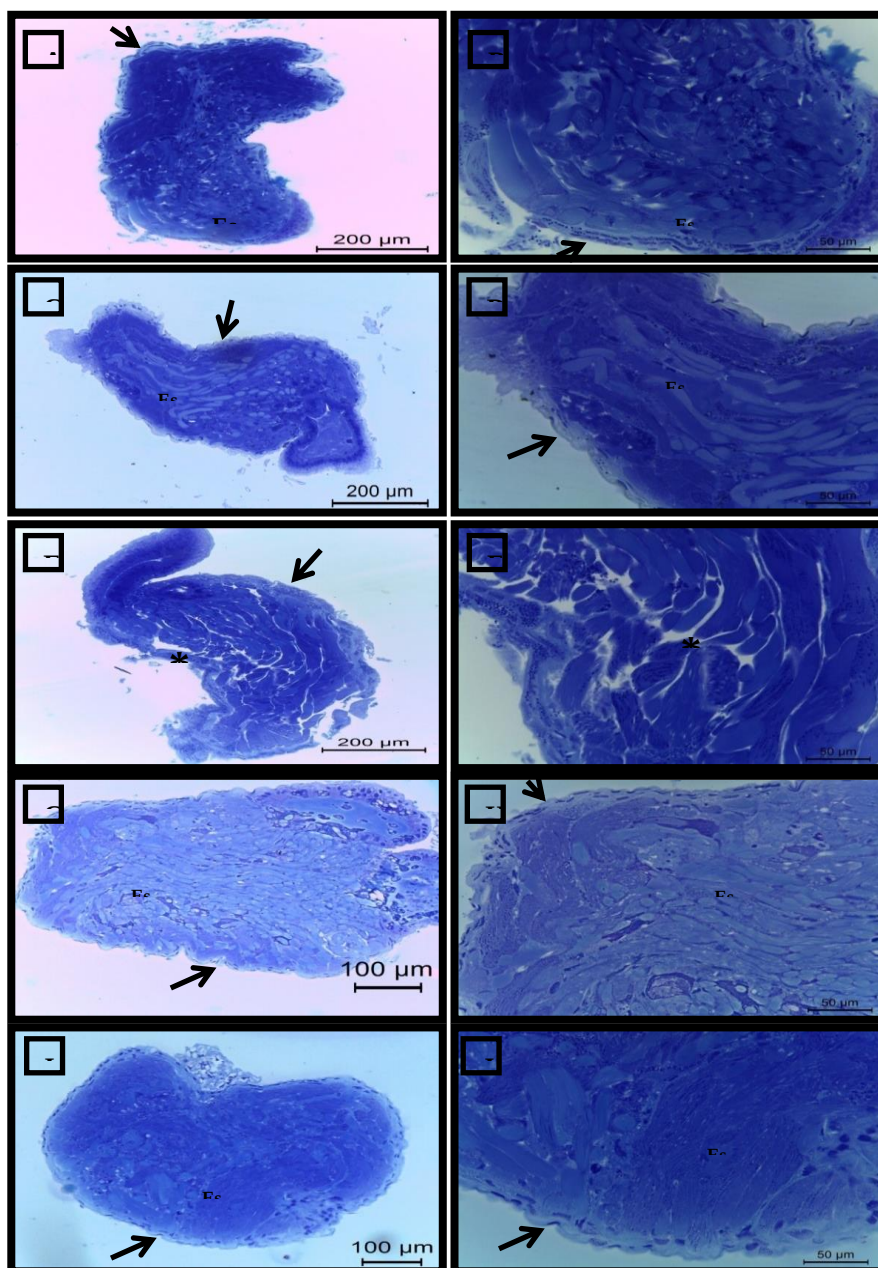


Figura 2. Seção longitudinal dos testículos de *Neoleucinodes elegantalis* pulverizado com CL₄₅ dos óleos essenciais de *Copaifera officinalis* e *Origanum majorana*, e com as concentrações comerciais dos produtos formulados Decis® e Azamax®. A e B- Controle; C e D- *Copaifera officinalis*; E e F- *Origanum majorana*; G e H- Decis®; I e J- Azamax®. Coloração com Azul de Toluidina. Tecido conjuntivo (seta longa); Esperma (Es); Espaços não preenchidos por esperma (*).

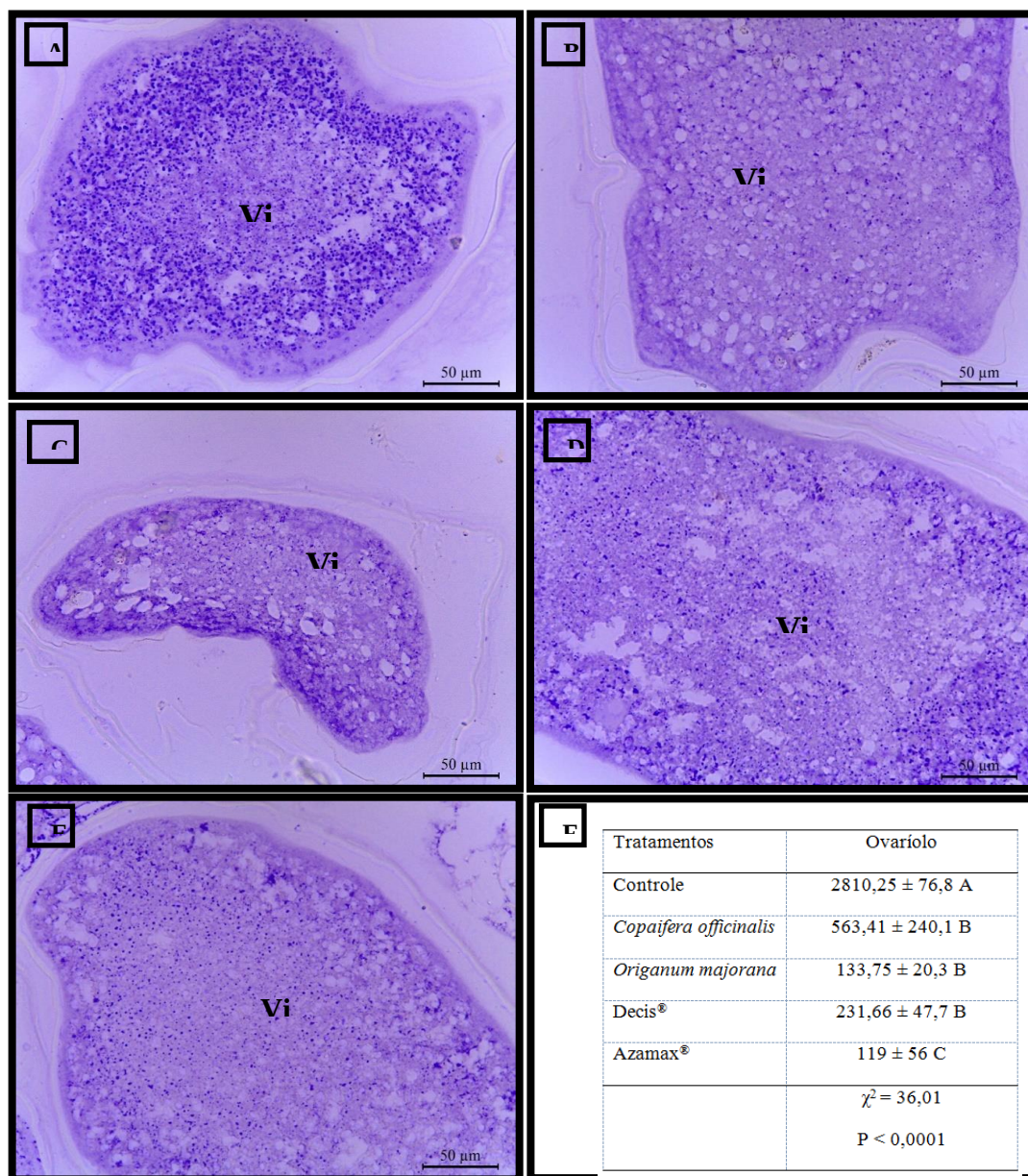


Figura 3. Histoquímica dos ovários de adultos de *Neoleucinodes elegantalis* pulverizados com a CL₄₅ dos óleos essenciais de *Copaifera officinalis* e *Origanum majorana*, e com as concentrações dos produtos formulados comerciais Decis® e Azamax®. A- Controle; B- *Copaifera officinalis*; C- *Origanum majorana*; D- Decis®; E- Azamax®; F- Número de pixels (média ± SEM) para polissacarídeos neutros. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Kruskal-Wallis a 5% de significância. Coloração com Ácido Periódico de Schiff (PAS). Vitelo (Vi).

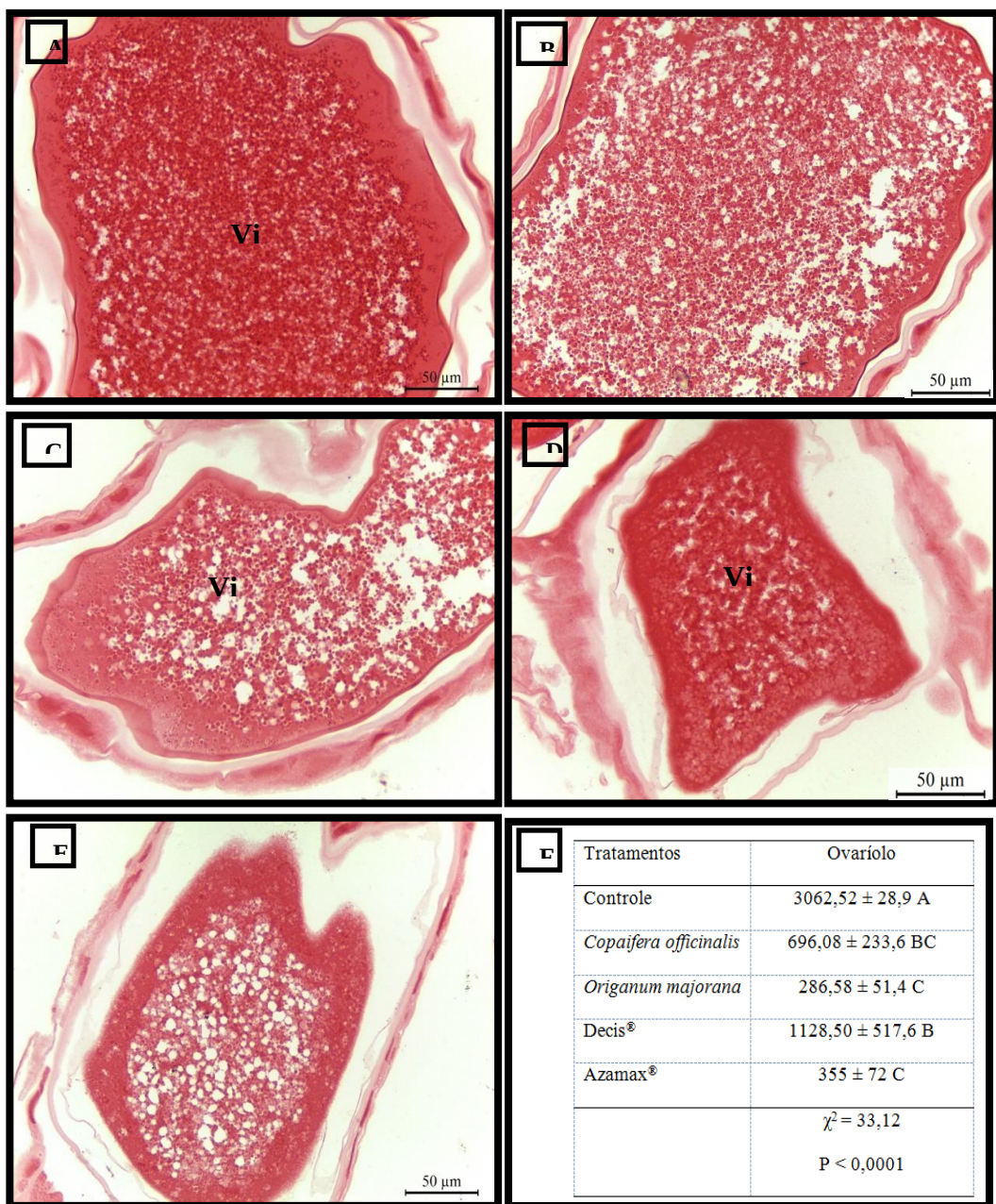


Figura 4. Histoquímica dos ovários de adultos de *Neoleucinodes elegantalis* pulverizados com a CL₄₅ dos óleos essenciais de *Copaifera officinalis* e *Origanum majorana*, e com as concentrações dos produtos formulados comerciais Decis® e Azamax®. A- Controle; B- *Copaifera officinalis*; C- *Origanum majorana*; D- Decis®; E- Azamax®; F- Número de pixels (média ± SEM) para proteínas totais. Médias seguidas por mesma letra não diferem pelo teste de Kruskal-Wallis a 5% de significância. Coloração com Xylidine Ponceau. Vitelo (Vi).

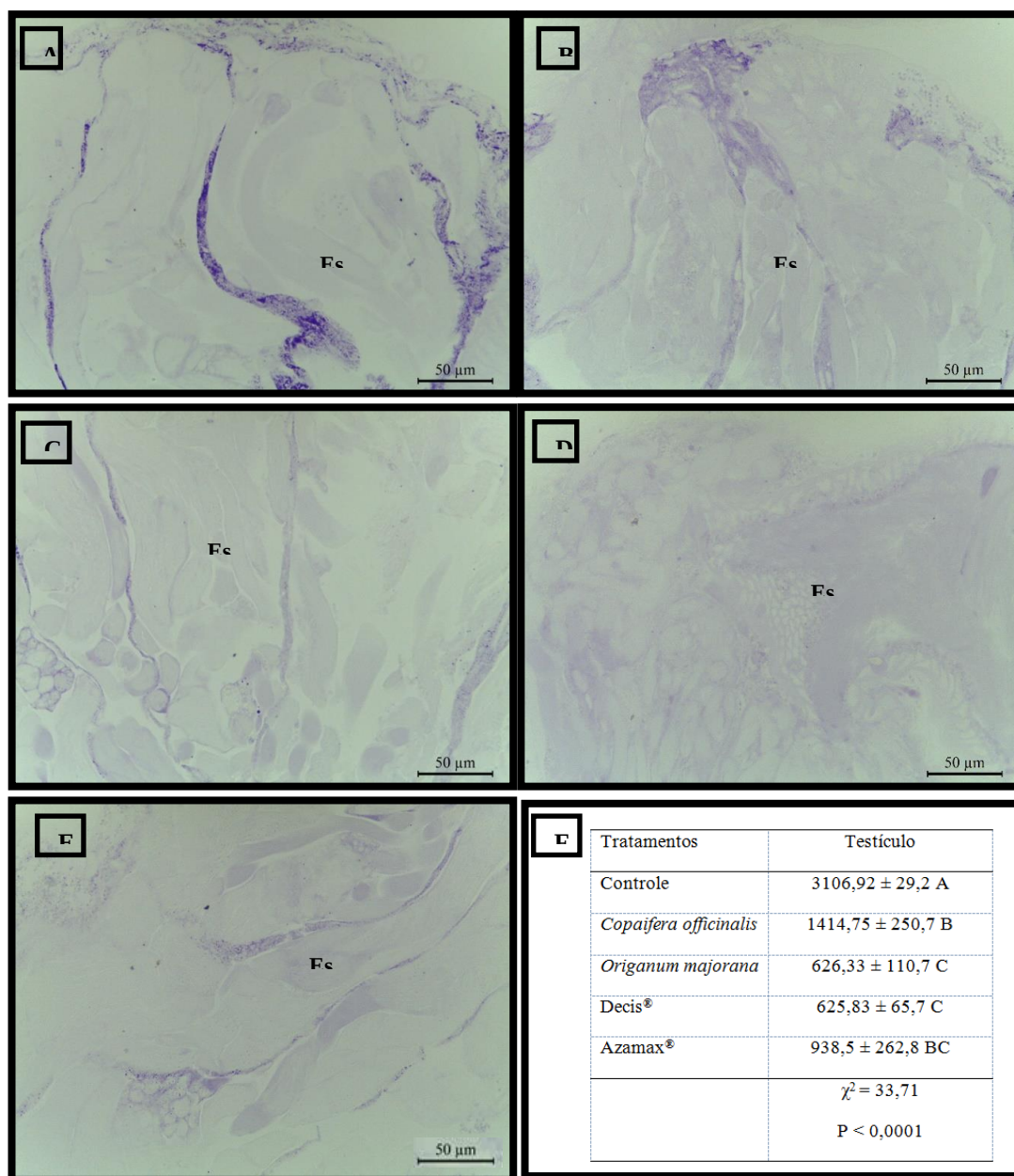


Figura 5. Histoquímica dos testículos de adultos de *Neoleucinodes elegantalis* pulverizados com a CL₄₅ dos óleos essenciais de *Copaifera officinalis* e *Origanum majorana*, e com as concentrações dos produtos formulados comerciais Decis® e Azamax®. A- Controle; B- *Copaifera officinalis*; C- *Origanum majorana*; D- Decis®; E- Azamax®; F- Número de pixels (média ± SEM) para polissacarídeos neutros. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Kruskal-Wallis a 5% de significância. Coloração com Ácido Periódico de Schiff (PAS). Esperma (Es).

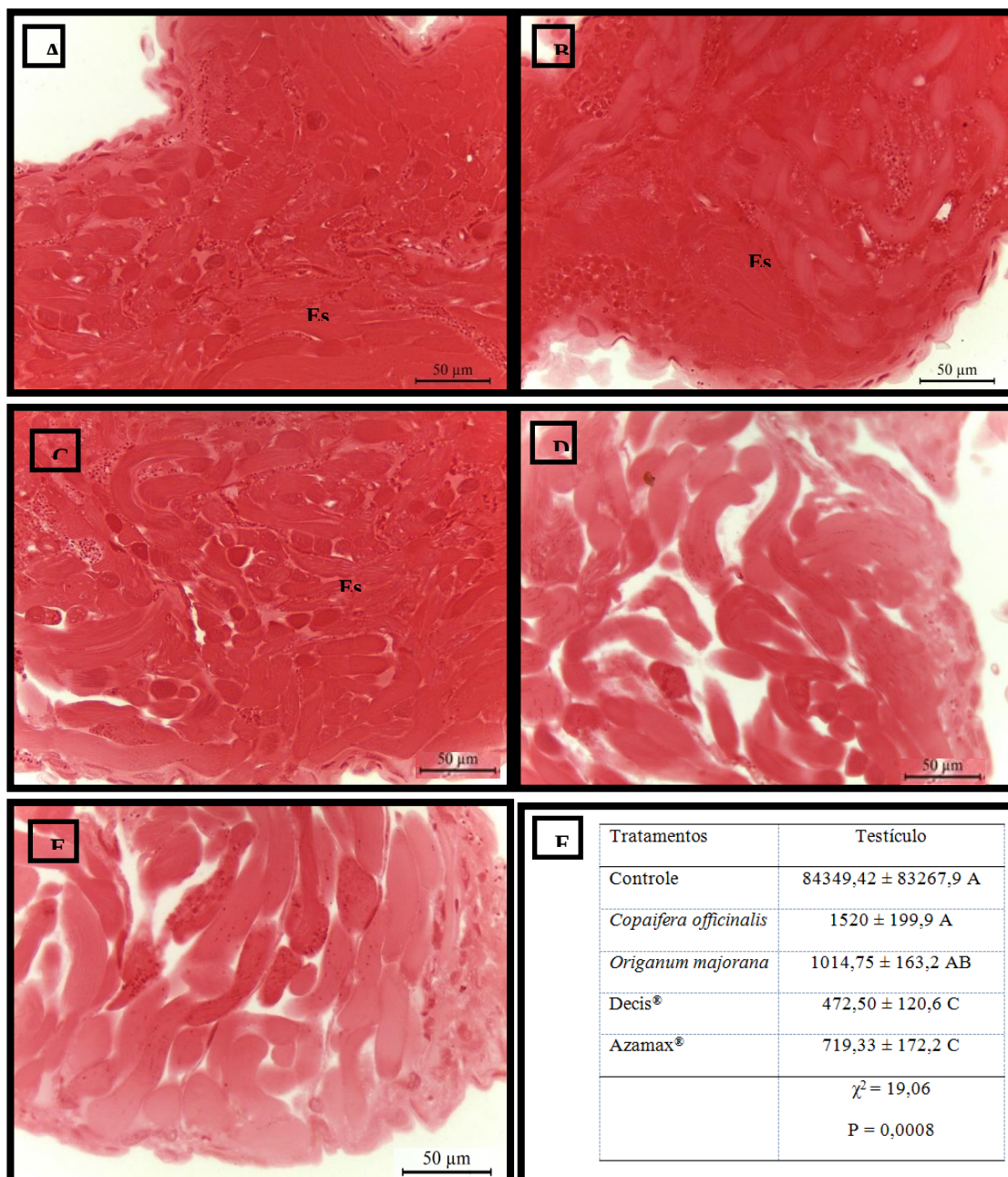


Figura 6. Histoquímica dos testículos de adultos de *Neoleucinodes elegantalis* pulverizado com CL₄₅ do óleo essencial de *Copaifera officinalis* e *Origanum majorana*, e com a concentração comercial dos produtos formulados Decis® e Azamax®. A- Controle; B- *Copaifera officinalis*; C- *Origanum majorana*; D- Decis®; E- Azamax®; F- Número de pixels (média ± SEM) para proteínas totais. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Kruskal-Wallis ao nível de 5% de significância. Coloração com Xylidine Ponceau. Esperma (Es).



DECLARAÇÃO DE PUBLICAÇÃO

A Atena Editora, especializada na publicação de livros, revistas internacionais e coletâneas de artigos científicos em todas as áreas do conhecimento, com sede na cidade de Ponta Grossa-PR, declara que após avaliação cega pelos pares, membros do nosso Conselho Editorial, o artigo intitulado "INFLUENCE OF THE ESSENCIAL OILS OF *Origanum majorana* AND *Copaifera officinalis* IN COMPARISON TO FORMULATED PRODUCTS ON ADULT GONADS OF *Neoleucinodes elegantalis* (GUENÉE) (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE)", de autoria de "Camila Santos Teixeira, Valéria Wanderley Teixeira, Glaucilane dos santos cruz , Milena Larissa Gonçalves Santana, Maria Clara Nobrega Ferreira, Kamilla Andrade Dutra, Daniela Maria do Amaral Ferraz Navarro, Valeska Andrea Atico Braga, Dayvson De Santana Cavalcanti, Thiago José de Souza Alves, Álvaro Aguiar Coelho Teixeira, Carolina Arruda Guedes, glaucilane dos santos cruz, foi aprovado e publicado na revista "International Journal of Biological and Natural Sciences (ISSN 2764-1813)", sob ISSN 2764-1813 e DOI 10.22533/at.ed.813232228041.

Agradeço a escolha pela Atena Editora como meio de transmitir ao público científico e acadêmico o trabalho e parabenizo os autores pela publicação.

Reitero protestos de mais elevada estima e consideração.

Ponta Grossa, 09 de janeiro de
2024

Prof.^a Antonella Carvalho de Oliveira
Doutora em ensino de ciência e
tecnologia
Editora Chefe
ATENA
EDITORIA

CAPÍTULO 4

EFEITO DE ÓLEOS ESSENCIAIS EM *Neoleucinodes elegantalis* (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) E SUA SELETIVIDADE E RESPOSTA FUNCIONAL A *Trichogramma pretiosum* (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE)

CAMILA S. TEIXEIRA¹, GLAUCILANE S. CRUZ¹, JOSÉ W. S. MELO³, ÁLVARO A. C. TEIXEIRA² E VALÉRIA WANDERLEY-TEIXEIRA²,

¹Departamento de Agronomia – Entomologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manoel de Medeiros, Recife, PE, 52171-900, Brasil.

²Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manoel de Medeiros, Recife, PE, 52171-900, Brasil.

³Departamento de Zoologia, Universidade Federal de Pernambuco, Avenida Prof. Moraes Rego, Recife, PE, 50670-901, Brasil.

¹Teixeira, C.S., G.S. Cruz, J.W.S. Melo, Á.A.C. Teixeira & V. Wanderley-Teixeira. Efeito de óleos essenciais em *Neoleucinodes elegantalis* (Lepidoptera: Crambidae) e sua seletividade e resposta funcional a *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). A ser submetido.

RESUMO – O uso de produtos botânicos como os óleos essenciais vem ganhando destaque como método de controle por apresentar propriedades inseticidas que podem ser utilizadas no manejo de pragas como a *Neoleucinodes elegantalis*. Conciliar produtos químicos e botânicos aos inimigos naturais é uma estratégia desejável para o manejo dessa espécie de praga. *Trichogramma pretiosum* é um potencial agente de controle biológico para *N. elegantalis*. Neste estudo, objetivou-se avaliar a toxicidade dos óleos de *Pelargonium graveolens* e *Amyris balsamifera* sobre *N. elegantalis*, e os efeitos subletais dos óleos e os inseticidas azadiractina e deltametrina em parâmetros biológicos de *T. pretiosum*, bem como determinar sua seletividade e resposta funcional. A análise química revelou que os óleos essenciais são constituídos por monoterpenos e sesquiterpenos. A CL₅₀ (0,078 µL/mL para *A. balsamifera* e 0,0081 µL/L para *P. graveolens*) e a CL₃₀ (0,032 µL/mL para *A. balsamifera* e 0,0034 µL/mL para *P. graveolens*) foram estimadas, indicando que estes apresentam efeito tóxico em *N. elegantalis*. O óleo de *A. balsamifera* e o inseticida deltametrina afetaram o parasitismo de *T. pretiosum*. O tipo de resposta funcional encontrado foi tipo II para os óleos essenciais e do tipo III para o inseticida azadiractina. *Pelargonium graveolens* apresentou o melhor resultado para ser usado em associação ao parasitoide no manejo de pragas, sendo uma alternativa promissora.

PALAVRAS-CHAVE: composição química, controle biológico, curva resposta, tempo de manipulação, efeito subletal.

EFFECT OF ESSENTIAL OILS ON *Neoleucinodes elegantalis* (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) AND ITS SELECTIVITY AND FUNCTIONAL RESPONSE TO *Trichogramma pretiosum* (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE)

ABSTRACT – The use of botanical products such as essential oils has gained prominence as a control method as they have insecticidal properties that can be used in the management of pests such as *Neoleucinodes elegantalis*. Combining chemical and botanical products with natural enemies is a desirable strategy for managing this pest species. *Trichogramma pretiosum* is a potential biological control agent for *N. elegantalis*. In this study, the objective was to evaluate the toxicity of *Pelargonium graveolens* and *Amyris balsamifera* oils on *N. elegantalis*, and the sublethal effects of the oils and the insecticides azadirachtin and deltamethrin on biological parameters of *T. pretiosum*, as well as to determine their selectivity and functional response. . Chemical analysis revealed that essential oils are made up of monoterpenes and sesquiterpenes. The LC₅₀ (0.078 µL/mL for *A. balsamifera* and 0.0081 µL/L for *P. graveolens*) and LC₃₀ (0.032 µL/mL for *A. balsamifera* and 0.0034 µL/mL for *P. graveolens*) were estimated, indicating that they have a toxic effect on *N. elegantalis*. *A. balsamifera* oil and the insecticide deltamethrin affected *T. pretiosum* parasitism. The type of functional response found was type II for essential oils and type III for the insecticide azadirachtin. *Pelargonium graveolens* presented the best result for use in association with the parasitoid in pest management, being a promising alternative.

KEY WORDS: chemical composition, biological control, response curve, handling time, sublethal effect.

Introdução

A crescente expansão agrícola aliada aos avanços tecnológicos requer uma constante busca por estratégias mais eficientes de controle, que atendam aos princípios de sustentabilidade e reduzam os custos de produção. Em resposta a esta necessidade a utilização de biopesticidas, como os óleos essenciais, tem se mostrado uma estratégia interessante (Pavela 2016, Jankowska *et al.* 2017, Ferreira *et al.* 2019).

Provenientes do metabolismo secundário das plantas, os óleos essenciais apresentam ampla ação sobre diversos artrópodes por meio de efeitos letais e subletais, podendo provocar repelência, afetar a fertilidade, provocar efeitos na fisiologia, comprometer o desenvolvimento, alterar o comportamento e causar mortalidade (Li *et al.* 2014, Cruz *et al.* 2016, Pavela *et al.* 2016, Bedini *et al.* 2019, Santana *et al.* 2022, Sombra *et al.* 2022).

Dentre os óleos essenciais que vêm sendo alvo de estudos para avaliar seu uso como bioinseticida, pode-se citar o gerânio (*Pelargonium graveolens* L.) e o sândalo (*Amyris balsamifera* L.) apresentando resultados promissores em diversas pragas agrícolas e urbanas. O que demonstra o potencial desses óleos essenciais como uma opção a se considerar no controle de pragas. (Carroll *et al.* 2010, Park & Park 2012, Niculau *et al.* 2013, Benelli *et al.* 2017, Rios *et al.* 2017, Saraiva *et al.* 2020).

O controle biológico, por meio do uso de parasitoides do gênero *Trichogramma*, que atua efetuando o parasitismo de ovos de diversos insetos-praga, é outra alternativa a ser considerada, já que sua ação ocorre por meio da supressão de pragas antes que essas causem danos aos cultivos, sendo interessante seu uso associado ao controle com óleos essenciais, atendendo às premissas do Manejo Integrado de Pragas (MIP) (Coelho Jr *et al.* 2016, Sigsgaard *et al.* 2017, Oliveira *et al.* 2020).

Na literatura existem poucos estudos que abordem a associação desses métodos de controle, uma vez que é crucial conhecer como os óleos essenciais podem influenciar os organismos não-alvo, já que o uso de produtos não seletivos pode afetar o desempenho do *Trichogramma* e comprometer sua ação, podendo causar redução do parasitismo e emergência (Parreira *et al.* 2019, Sombra *et al.* 2022).

Estudos de resposta funcional, também se tornam fundamentais para que se conheça o comportamento do inimigo natural diante de diferentes densidades do hospedeiro e sua ação ao longo do tempo, de modo a contribuir para definir a melhor forma de utilizar esse conjunto de estratégias (Holling 1959).

Insetos-praga como *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae), é de grande importância em cultivos de solanáceas, como o tomate, uma vez que os danos causados por essa praga podem chegar à perda de 90% da produção, e os gastos com o uso de produtos fitossanitários contribuem com o alto custo do cultivo (Gravena & Benvenga 2003, Picanço *et al.* 2007, CONAB 2023). O que torna necessário o desenvolvimento de estudos que buscam métodos eficientes para o controle dessa praga, de modo a contribuir na redução dos custos de produção.

No entanto, trabalhos que relatem a associação do uso de óleos essenciais e *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) no controle de *N. elegantalis* são escassos, como o estudo de Santana *et al.* (2022), que avaliou o uso destes métodos em conjunto. Este fato pode estar associado às dificuldades em estabelecer esta inseto praga em laboratório, dificultando o desenvolvimento de pesquisas. Visando preencher esta lacuna de conhecimentos, este trabalho objetivou analisar a composição química dos óleos essenciais de *A. balsamifera* e *P. graveolens* e avaliar os efeitos sobre *N. elegantalis* e analisar os efeitos desses óleos no parasitoide *T. pretiosum*, bem como determinar a sua seletividade e sua resposta funcional.

Material e Métodos

O presente estudo foi desenvolvido no Laboratório de Ecologia Química no Departamento de Química fundamental da Universidade Federal de Pernambuco (DQF-UFPE), e no Laboratório de Histologia e Fisiologia de Insetos no Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal (DMFA) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, Pernambuco, Brasil.

Plantio de Tomate. Plantas de tomate do cultivar Yoshimatsu foram cultivadas para obtenção dos frutos, os quais foram utilizados nos bioensaios. As mudas foram produzidas em bandejas de polietileno com 128 células e o transplântio foi realizado após 29 dias da semeadura, quando as plantas apresentavam quatro folhas definitivas, em média. Nesse momento, foram transplantadas na Horta do Departamento de Agronomia da UFRPE, utilizando um espaçamento de 1,0 m x 0,5 m, onde recebeu os seguintes tratos culturais: poda, amarração e fertilização.

Criação de *Neoleucinodes elegantalis*. Para começar a criação da praga em laboratório, frutos de tomates infestados foram coletados de plantações nas cidades de Camocim de São Félix (8°21'31" S e 35°45'43" O) e Bezerros (8°14'00" S e 35°47'49" O), em Pernambuco, Brasil. Os frutos de tomate foram levados para o Laboratório de Fisiologia de Insetos da UFRPE e foram colocados em bandejas de plástico cobertas com papel toalha e voil até as lagartas alcançarem o último instar larval, quando deixam o fruto, passando para o estágio de pupa. Em seguida, as pupas foram colocadas em gaiolas de madeira e organza (60x60x60 cm) até a emergência dos adultos, que foram alimentados com uma solução de sacarose a 10 %. Frutos de tomate verde de aproximadamente 3 cm de diâmetro foram oferecidos para oviposição em recipientes de plástico (500 mL) contendo água, trocada diariamente. Folhas de tomate foram utilizadas para estimular a oviposição. Os ovos foram transferidos para frutos de jiló orgânico (obtido a partir de estabelecimentos comerciais) de aproximadamente 7 cm de comprimento. Os frutos foram

mantidos em bandejas plásticas coberto com papel toalha por cerca de 15 dias, até que as lagartas atingissem o último ínstar larval, quando eles abandonam os frutos e passam para o estágio de pupa no papel toalha. A criação de *N. elegantalis* foi mantida em $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $70\% \pm 10\%$ de umidade relativa, com fotofase de 12 h.

Obtenção de *Trichogramma pretiosum*. O parasitoide de ovos *T. pretiosum* foi obtido comercialmente da empresa TopBio, Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil, criados em ovos de *Anagasta kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae). Obtido na fase de ovo, onde após a emergência, os parasitóides foram criados em condições de laboratório em B.O.D regulada para $25 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ e fotofase de 12 horas, sobre ovos de *N. elegantalis* como hospedeira de laboratório para atividades de parasitismo. Uma gota de mel (10 %) foi utilizada para a alimentação dos parasitóides adultos.

Obtenção dos Óleos Essenciais e Inseticidas Formulados. Os óleos essenciais de *A. balsamifera* e *P. graveolens*, usado nos experimentos, foram obtidos da empresa Ferquima Ind. e Com. Ltda. (Vargem Grande Paulista, São Paulo, Brasil). As informações técnicas desses produtos e seus parâmetros de qualidade (cor, pureza, odor, densidade a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$) estão descritas em informe técnico no site da empresa < <http://ferquima.com.br> >.

Os inseticidas azadiractina (Azamax[®]) e deltametrina (Decis[®]) foram adquiridos de distribuidora de pesticidas em Recife-PE. Azamax[®] é um inseticida natural do grupo dos tetranotriterpenoides com ação repelente e inseticida, por inibição da alimentação e do crescimento do inseto (AGROFIT 2023). Por sua vez, Decis[®] é um inseticida de contato e ingestão do grupo dos piretróides, que atua sobre as terminações nervosas no organismo do inseto (AGROFIT 2023).

Análise do Perfil Químico dos Óleos Essenciais. As análises da composição química dos óleos essenciais foram realizadas no Laboratório de Ecologia Química da Universidade Federal de Pernambuco. As análises utilizaram cromatografia a gás (CG) acoplada à espectrometria de massas

(EM) em um sistema quadruplo Agilent 5975C Series CG/EM (Agilent Technologies, Palo Alto, EUA), equipado com uma coluna apolar DB-5 (Agilent J&W; 60 m x 0,25 mm d.i., 0,25 μ m espessura da película). A solução de 1,0 μ L (2000 μ g/mL) de cada óleo essencial diluído em hexano foi injetada em split 1:50, assim como a solução hexânica da mistura de padrões de hidrocarbonetos C8-C30 (Sigma-Aldrich®). A temperatura do CG foi ajustada em 60°C por 3 minutos, e em seguida aumentada 2,5 °C min⁻¹ até alcançar 240 °C, que foi mantido por 10 minutos. O fluxo de hélio foi mantido em pressão constante de 100 kPa. A interface do EM foi definido em 200°C e os espectros de massa registrados em 70 eV (em modo EI), com uma velocidade de escaneamento de 0,5 scan-s de m/z 20-350 (Santos *et al.* 2014). Os constituintes dos óleos essenciais foram quantificados através da CG em um sistema Thermo Fisher Scientific (Waltham, MA, USA) Trace CG Ultra gás equipado com um detector de ionização por chama (DIC), com uma coluna HB-5 (30 m x 0,25 mm d.i., 0,25 μ m de espessura da película). A temperatura do forno foi mantida a 40 °C durante 2 min e depois aumentada a 4 °C min⁻¹ para 230 °C. O injector e o detector foram mantidos a 250 °C. Para realizar a quantificação, 1 μ L da solução (2000 μ g/mL) de cada óleo essencial preparada em hexano foi injetada em splitless. A composição de cada componente foi expressa na forma de percentagens da área total do pico conforme registrado por CG-FID. Os Índices de Retenção (IR) de cada componente dos óleos essenciais foram calculados segundo a equação de Van den Dool & Kratz (1963), de acordo com os tempos de retenção dos componentes da amostra de cada óleo essencial, do padrão de hidrocarboneto (C8-C30) e da combinação de cada óleo essencial com a mistura deste padrão. Os componentes de cada óleo essencial foram previamente identificados por similaridade dos valores dos índices de retenção (IR) e posteriormente confirmados por comparação dos respectivos espectros de massa com aqueles disponíveis na biblioteca do CG/EM: MassFinder 4, NIST08 e Wiley Registry™ 9th Edition e com os descritos por Adams (2009).

Bioensaio para Determinação das Concentrações Letais. Os tratamentos consistiram na diluição dos óleos de *A. balsamifera* e *P. graveolens* em acetona conforme metodologia de Prajapati *et al.* (2005). Foram obtidas concentrações 0,008; 0,03; 0,06; 0,25; 0,5; 2,0 µL/mL para *A. balsamifera* e 0,0005; 0,001; 0,0019; 0,0039; 0,0078; 0,125 µL/mL para *P. graveolens* através de testes preliminares objetivando obter mortalidade em torno de 5 % e 95 % para o estabelecimento das concentrações definitivas. O bioensaio consistiu na pulverização de cerca de 100 ovos, os quais foram acondicionados em placas de Petri. Sendo utilizadas cinco repetições com 20 ovos para cada tratamento. Ovos do tratamento controle receberam somente solução de acetona. Foi avaliada a inviabilidade dos ovos, com a contagem de lagartas eclodidas após 72 h (período de incubação dos ovos de *N. elegantalis*) da instalação do experimento, utilizando a análise de probit pelo programa SAS PROC PROBIT (SAS Institute 2002) onde obteve a CL₅₀ e a CL₃₀ utilizada nos ensaios subsequentes.

Efeitos dos Óleos Essenciais e dos Produtos Formulados sobre a Biologia e Parasitismo de *Trichogramma pretiosum*. No bioensaio, para avaliar os parâmetros de *T. pretiosum* e determinar a sua seletividade foi utilizada a CL₅₀ dos óleos essenciais, segundo metodologia adaptada de Parreira *et al.* (2019) e Santana *et al.* (2022), onde cerca de 10 ovos de *N. elegantalis* foram coletados e colados com goma arábica em cartelas de cartolina azul celeste (1,5 x 7,0 cm). As cartelas foram imersas por 5 segundos nas soluções contendo a CL₅₀ dos óleos essenciais (0,078 µL/mL para *A. balsamifera* e 0,0081 µL/L para *P. graveolens*) e nas concentrações comerciais dos produtos formulados (200 mL de azadiractina em 100 L de água e 40 mL de deltametrina em 100 L de água) em cada tratamento, mais a testemunha (água destilada + acetona), depois foram colocadas em papel toalha para evaporação do solvente por 30 minutos. As cartelas foram inseridas em tubos de vidro (2,5 x 8,5 cm), contendo uma fêmea de *T. pretiosum* (0-24 h de idade) e fechados com plástico filme, permitindo o parasitismo por um período de 24 h. Uma gota de mel

(10 %) foi utilizada para a alimentação das fêmeas. Os tubos foram transferidos para a B.O.D ajustada a 25 ± 2 °C, umidade relativa de 70 ± 10 % e fotofase de 12 h. As fêmeas foram descartadas após 24 h, e as cartelas mantidas nos tubos até a emergência dos parasitoides. Foram avaliados a porcentagem de parasitismo, porcentagem de emergência, razão sexual e parasitoide/ovo. A redução na taxa de parasitismo (RP) dos parasitoides, para cada tratamento, foi determinada por comparação com a testemunha e calculada por meio da fórmula: $RP = (1 - R_t/R_c) \times 100$, sendo: RP: Porcentagem média de redução do parasitismo (%); R_t : Valor do parasitismo médio para cada tratamento e; R_c : Parasitismo médio observado na testemunha (Hassan *et al.* 2000). Com base nas percentagens de redução, os produtos formulados e os óleos essenciais foram classificados segundo proposta da "International Organization for Biological and Integrated Control of Noxious Animals and Plants (IOBC)", em que: 1= inócuo (< 30 %), 2= levemente nocivo (30-79 %), 3= moderadamente nocivo (80-99 %) e 4= nocivo (> 99 %) (Sterk *et al.* 1999). Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado totalizando 20 repetições por tratamento e os resultados foram analisados pelo programa estatístico SAS (SAS Institute 2002).

Bioensaio de Resposta Funcional: Para investigação da resposta funcional de *T. pretiosum* submetido a tratamento com doses subletais dos óleos essenciais, foram utilizadas a CL_{30} dos mesmos, conforme metodologia adaptada de Saber *et al.* (2020). Para isso, ovos de *N. elegantalis* foram coletados e transferidos para papel cartolina azul celeste (1,5 x 7,0 cm) e colados com goma arábica. Posteriormente, as cartelas com esses ovos foram imersas por 5 segundos nas soluções contendo a CL_{30} dos óleos essenciais (0,032 µL/mL para *A. balsamifera* e 0,0034 µL/mL para *P. graveolens*) e a concentração comercial recomendada para os inseticidas (200 mL de azadiractina em 100 L de água e 40 mL de deltametrina em 100 L de água) em cada tratamento, mais o controle (água destilada + acetona), depois foram colocadas em papel toalha para evaporação do solvente por 30 minutos. As densidades de ovos estabelecidas foram 4, 8, 16, 32 e

64 ovos/repetição. As cartelas foram colocadas em tubos de vidro (2,5 x 8,5 cm), contendo uma fêmea de *T. pretiosum*, previamente acasalada com idade de até 24 h, e fechados com plástico filme, permitindo o parasitismo por um período de 24 h. Uma gota de mel (10 %) foi utilizada para a alimentação das fêmeas. Os tubos foram transferidos para a B.O.D ajustada a 25 ± 2 °C, umidade relativa de 70 ± 10 % e fotofase de 12 h. Após 24 h, as fêmeas foram retiradas e o parasitismo (ovos com coloração escura) foi observado após 4 dias com o auxílio de um estereomicroscópio. Cada tratamento dos óleos essenciais, inseticidas e o controle foram bioensaiados em vinte repetições, com cada repetição constituída de uma fêmea, totalizando 100 fêmeas.

Análises dos Dados: O modelo de Holling (1959) serviu de base para que outros modelos pudessem ser determinados para identificar o tipo de resposta funcional de diferentes inimigos naturais. Foi utilizado neste estudo a função polinomial cúbica para ajustar os dados que determinam o tipo de resposta funcional: $Na/N_0 = \exp (P_0 + P_1N_0 + P_2N_0^2 + P_3N_0^3) / (1 + \exp (P_0 + P_1N_0 + P_2N_0^2 + P_3N_0^3))$. Onde: Na= número de hospedeiros atacados por *T. pretiosum*, N_0 = diferentes densidades de hospedeiro (4, 8, 16, 32 e 64 ovos de *N. elegantalis*), e P_0 ; P_1 ; P_2 e P_3 são os coeficientes de intercepto, linear, quadrático e cúbico, respectivamente. Se o coeficiente linear P_1 não diferir significativamente de zero a resposta será do Tipo I (linear). Se $P_1 < 0$ e diferir significativamente de zero a resposta será do Tipo II (não linear). Se $P_1 > 0$ e $P_2 < 0$ a resposta será do Tipo III (não linear) (Juliano 2020).

Para estimar os valores da taxa de ataque e de manipulação foi utilizada a adaptação do modelo de Rogers (1972), conforme explicado a seguir: $N_a = aT_tN_0(1 + aT_hN_0)$. Onde: N_a = número de hospedeiros atacados por *T. pretiosum*, N_0 = diferentes densidades de hospedeiro (4, 8, 16, 32 e 64 ovos de *N. elegantalis*), T_t = tempo total do experimento (24 horas), a = taxa de ataque (área de

descoberta do hospedeiro) por *T. pretiosum*, T_h = tempo de manipulação de *T. pretiosum* para seu hospedeiro.

Os modelos de regressão linear foram aplicados para determinar os tipos de resposta funcional e para estimar a taxa de ataque do parasitoide e o tempo de manipulação nos diferentes tratamentos e controle de óleos essenciais, respectivamente, utilizando o software SAS (SAS Institute, 2002).

Resultados

Perfil Químico dos Óleos Essenciais. A análise gerada por cromatografia gasosa - espectrometria de massas identificou 29 compostos para o óleo essencial de *A. balsamifera* (Tabela 1) e 45 compostos para *P. graveolens* (Tabela 2). O óleo essencial de *A. balsamifera* é formado predominantemente por sesquiterpenos, 94,87% do óleo, e seus constituintes majoritários são: Valerianol (23,94%), Elemol (10,83%), β -Eudesmol (10,69%), Eudesmol 7-epi- α (10,63%), 10-epi- γ -eudesmol (8,71%) e γ -Eudesmol (7,36%). Em contrapartida, o óleo essencial de *P. graveolens* tem em sua composição maioria de monoterpenos, em 95,70% do óleo, e seus compostos majoritários são: Citronellol (22,07%), Geraniol (12,69%), Citronellyl formate (11,63%), <6,9>Guaiadiene (9,93%) e Geranyl formate (6,14%).

Bioensaio para Determinação das Concentrações Letais. Os dados de mortalidade obtidos por meio da curva de concentração resposta mostrou valores de χ^2 (<15,82) e valor de P (>0,003), indicando que o modelo de Probit é adequado. A CL_{50} foi estimada e utilizada nos bioensaios para demonstrar a toxicidade dos óleos em *N. elegantalis*. A CL_{50} de *A. balsamifera* foi 0,078 μ L/mL (0,040 – 0,14) e para *P. graveolens* 0,0081 μ L/mL (0,006 – 0,010). A CL_{30} foi estimada para demonstrar os efeitos dos óleos sobre a performance de *T. pretiosum* parasitando ovos de *N.*

elegantalis. A CL_{30} de *A. balsamifera* foi 0,032 $\mu\text{L/mL}$ (0,012 – 0,059) e para *P. graveolens* 0,0034 $\mu\text{L/mL}$ (0,002 – 0,004) (Tabela 3).

Efeito dos Óleos Essenciais e Produtos Formulados Sobre Biologia e Parasitismo de *T. pretiosum*. Os valores de emergência ($\chi^2 = 7.9119$; GL = 3; P = 0.0579), razão sexual ($\chi^2 = 3.6836$; GL = 3; P = 0.2977) e parasitoide/ovo ($\chi^2 = 2.1429$; GL = 3; P = 0.5433) não foi afetado pelo óleo essencial de *P. graveolens* ou pelos produtos formulados, não apresentando diferença significativa pelo Teste de Kruskal-Wallis.

Para o parâmetro de parasitismo os tratamentos controle, azadiractina e *P. graveolens* não diferiram entre si. Já os tratamentos deltametrina e *A. balsamifera* afetaram o parasitismo de *T. pretiosum* (Figura 1). As porcentagens médias de parasitismo foram 21,5; 17,5; 8,5; 0,5 e 0 % para os tratamentos Controle, azadiractina, *P. graveolens*, deltametrina e *A. balsamifera*, respectivamente ($\chi^2 = 19.9654$; GL = 4; Pr = 0.0005), pelo Teste de Kruskal-Wallis.

A redução na taxa de parasitismo (RP) e a classificação da toxicidade de acordo com as normas do IOBC são mostradas na Tabela 4. O inseticida azadiractina e o óleo essencial de *P. graveolens* foram classificados como inócuo e levemente nocivo (classes 1 e 2, respectivamente) para *T. pretiosum*. O inseticida deltametrina e o óleo essencial de *A. balsamifera* apresentaram uma maior redução na taxa de parasitismo (97,67 e 100 %), sendo classificados como moderadamente nocivo e nocivo (classes 3 e 4, respectivamente) para *T. pretiosum*.

Bioensaio de Resposta Funcional. Os tratamentos controle, *P. graveolens* e *A. balsamifera* proporcionaram resposta funcional do tipo II aos parasitoides de *T. pretiosum* sobre *N. elegantalis*. Já o inseticida azadiractina proporcionou aos parasitoides uma resposta funcional do tipo III. Para o inseticida deltametrina não foi possível estimar o tipo de resposta funcional, pois a média de parasitismo foi abaixo de 2 % em todos os tratamentos (Tabela 5).

A média do número de hospedeiros parasitados aumentou com a disponibilidade desses indivíduos até atingir uma estabilidade e apresentou uma queda evidenciando o comportamento de cada curva de resposta funcional (Figuras 2 A e B). O número médio de indivíduos parasitados considerando todas as densidades de hospedeiros foi de 2,17; 1,8; 1,87; 2,69 e 0,19 para os tratamentos controle, *A. balsamifera*, *P. graveolens*, azadiractina e deltametrina.

De acordo com a equação linear estimada, o tempo de manipulação do hospedeiro foi estimado em 7,45 h e taxa de ataque em 0,020 para o controle. O óleo essencial de *A. balsamifera* proporcionou tempo de manipulação de 11,31 h e taxa de ataque de 0,044. Já para o óleo essencial de *P. graveolens* o tempo de manipulação foi de 11,38 h e taxa de ataque estimada em 0,061 (Figuras 3 A e B). Quanto aos inseticidas utilizados, azadiractina proporcionou tempo de manipulação de 6,39 h e taxa de ataque de 0,032. Não havendo diferença significativa entre os tratamentos analisados. Para o inseticida deltametrina, não foi possível estimar, pois a média de parasitismo foi abaixo de 2 % em todos os tratamentos. (Figuras 3 A e B).

Discussão

Os óleos essenciais objetos desse estudo tem em sua composição a presença de terpenos, que são responsáveis por conferir suas propriedades biológicas e características capazes de causar ação tóxica sobre insetos (Bakkali et al. 2008, Pavela & Benelli 2016). Cada bioativo presente na constituição dos óleos essenciais possui seu próprio modo de ação, atuando em diferentes sítios, suas propriedades podem ter ação neurotóxica, como por exemplo, inibir a ação da acetilcolinesterase que é uma das enzimas de maior importância para insetos, bem como agir a nível celular, o que confere o seu poder como agente de controle de pragas (Bakkali et al. 2008, Pauliquevis & Favero 2015, Mossa 2016, Jankowska et al. 2017).

Avaliando a composição do óleo essencial de *A. balsamifera* foram identificados 29 compostos. Pino *et al.* (2006) identificou a presença de 56 componentes para o mesmo óleo, com destaque para o Valerianol (43,8%) como maior constituinte em ambos trabalhos. Para *P. graveolens* foram identificados 45 compostos, diferindo de outros autores que encontraram variações nas quantidades dessas substâncias, porém mantendo os mesmos constituintes majoritários, Citronellol e o Geraniol (Ali *et al.* 2020, Niculau *et al.* 2020, Wei *et al.* 2022). A variação apresentada pode ser explicada pela variabilidade química encontrada em plantas de uma mesma espécie, que podem ser influenciadas por diversos fatores, sendo eles bióticos e abióticos, bem como pode ser alterada pelo método de extração adotado (Bakkali *et al.* 2008; Moraes 2009; Moraes *et al.* 2014, Niculau *et al.* 2020, Wei *et al.* 2022).

Diferentes estudos reforçam que a presença de sesquiterpenos e monoterpenos em óleos provenientes de *A. balsamifera* e *P. graveolens*, conferem o seu potencial como biosinseticida, onde se verificou repelência, efeitos subletais e mortalidade em diferentes artrópodes, como *A. aegypti* e *C. pipiens pallens*, *S. frugiperda* e *Bemisia tabaci* (Genn.) biotipo B (Hemiptera: Aleyrodidae) (Paluch *et al.* 2009, Park & Park 2012, Niculau *et al.* 2013, Fanela *et al.* 2016, Tabari *et al.* 2017), o que corrobora com seu potencial tóxico apresentado sobre os tratamentos realizados neste estudo em *N. elegantalis*.

A compatibilidade observada entre o óleo essencial de *P. graveolens*, o inseticida azadiractina e o parasitoide *T. pretiosum*, por meio das taxas de parasitismo (17,5 e 8,5%, respectivamente) indicam que esses produtos não afetaram o processo de busca e aceitação do hospedeiro realizado pela fêmea do parasitoide, sendo classificados como levemente nocivo e inócuo, respectivamente. As propriedades químicas presentes nesses produtos, cujos compostos derivam de monoterpenos e tetraterpenoides, podem provocar efeitos tóxicos sobre a praga, bem como realizar a atração de inimigos naturais (Miresmailli & Isman 2014). Resultados similares

foram observados em diferentes estudos com óleos essenciais e azadiractina, onde se constatou que estes não comprometeram o desempenho de *T. pretiosum* (Almeida *et al.* 2010, Santana *et al.* 2022).

A redução no parasitismo provocada pelo óleo essencial de *A. balsamifera* e pelo inseticida deltametrina, que foram classificados como nocivo e moderadamente nocivo, respectivamente, reforça a importância de se conhecer o comportamento do parasitoide, visto que, em busca de garantir sua prole avalia o potencial do hospedeiro, identificando a presença de substâncias químicas nocivas, o que resulta em rejeição do ovo e como consequência o não parasitismo. Isso ocorre devido a resíduos que podem causar tanto a repelência do adulto, por representar risco ao desenvolvimento dos imaturos, quanto a sua mortalidade (Thubru *et al.* 2016, Asma *et al.* 2018, Parreira *et al.* 2018).

A normalidade observada para os parâmetros de emergência, parasitoide/ovo e razão sexual indica que o ciclo de desenvolvimento de *T. pretiosum* não foi afetado pelos produtos testados. Estudos similares constataram que esse fato pode estar associado a não alteração da composição nutricional dos ovos, o que manteve a disponibilidade de nutrientes necessário para o embrião e representa um incremento no potencial de parasitismo das fêmeas de *T. pretiosum* (Parreira *et al.* 2019, Bibiano *et al.* 2022, Sombra *et al.* 2022).

A avaliação da resposta funcional surge como uma alternativa para contribuir com o manuseio do parasitoide como método de controle, a partir de uma sugestão de como o inimigo natural se comporta, e se a associação dos diferentes métodos adotados será eficiente (Rashidi *et al.* 2018, Oliveira & Reigada 2023). O bioensaio realizado neste estudo evidenciou dois tipos de respostas predominantes, sendo tipo II para os óleos essenciais de *P. graveolens* e *A. balsamifera* e para o controle, e resposta do tipo III para o inseticida azadiractina. Esses tipos de curva são comuns para representar o comportamento dos parasitoides da família Trichogrammatidae e

também foi observado em parasitoides submetidos a tratamentos com diferentes óleos essenciais e inseticidas (Paes *et al.* 2018, Asadi *et al.* 2018, Milanez *et al.* 2018, Saber *et al.* 2020, Heidarian *et al.* 2021, Oliveira & Reigada 2023) o que confirma que a presença desses produtos interfere na ação do parasitoide.

Respostas do tipo II permite inferir que esse parasitoide terá uma melhor performance na presença de baixas densidades do hospedeiro indicando que há uma estabilização na taxa de parasitismo (Holling 1959, Oliveira & Reigada 2023, Ray *et al.* 2023). Já para curva do tipo III é possível estimar que o inimigo natural será eficiente independente da disponibilidade do hospedeiro, representado por um aumento na sua atividade a medida que aumenta a densidade de ovos disponíveis seguido de uma estabilidade após saciedade (Holling 1959, Dong *et al.* 2017). Comportamentos que foram evidenciados pelas curvas resposta observadas neste estudo.

Para o tratamento deltametrina não foi possível estimar uma curva de resposta funcional que represente o comportamento de *T. pretiosum* por apresentar baixa taxa de parasitismo, o que indica influência de efeitos subletais provocados pelo inseticida, que é da classe dos piretróides. Resultados obtidos em outros estudos evidenciam a toxicidade desse inseticida para o parasitoide, apresentando uma persistência residual que pode influenciar na rejeição do hospedeiro, e afetar o desenvolvimento dos estágios imaturos deste inimigo natural. Efeito esse, que pode levar ao insucesso no uso desse produto aliado ao controle biológico, além de provocar a sua mortalidade (Delpuech & Delahaye 2013, Thubru *et al.* 2016, Tabebordbar *et al.* 2020).

Apesar do tempo de manipulação e a taxa de ataque serem importantes parâmetros para determinar a resposta funcional, uma vez que representa o tempo gasto pelo parasitoide desde a identificação, escolha, parasitismo do seu hospedeiro e a eficiência na busca pelos ovos, (Holling 1959, 1965, 1966, Farrokhi *et al.* 2010, Milanez *et al.* 2018), no presente estudo não houve diferença entre os tratamentos que tiveram curva resposta estimada.

Essa observação é positiva, já que azadiractina, *P. graveolens* e *A. balsamifera* não influenciaram o desempenho do parasitoide quando comparados ao controle. E difere de outros estudos onde foram observadas variações nesses parâmetros impulsionados pelos tratamentos com doses subletais de produtos formulados, e tais diferenças afetam diretamente a taxa de parasitismo comprometendo a eficiência do parasitoide (Paes *et al.* 2018, Saber *et al.* 2020).

Os resultados aqui apresentados sugerem que dentre os óleos e inseticidas testados, o *P. graveolens*, em concentrações subletais, e o inseticida azadiractina foram promissores. O óleo destacou-se por apresentar toxicidade a praga e não afetar o desempenho de *T. pretiosum*, não demonstrando efeitos adversos, podendo ser recomendado para uso simultâneo ao parasitoide.

Agradecimentos

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001 pelo financiamento deste estudo. Ao DEPA-UFRPE (Departamento de Agronomia) pela realização dos bioensaios.

Literatura Citada

- Adams, R.P. 2009.** Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry. Carol Stream, IL, Allured Publishing Co, 469p.
- Ali, I.B.E., F. Tajini, A. Boulila, M.A. Jebri, M. Boussaid, C. Messaoud & H. Sebï. 2020.** Bioactive compounds from Tunisian *Pelargonium graveolens* (L' Hér.) essential oils and extracts: α -amilase and acetylcholinesterase inhibitory and antioxidant, antibacterial and phytotoxic activities. Industrial Crops & Prod. 158: 112951.
- Almeida, G.D., J.C. Zanuncio, D. Pratissoli, G.S. Andrade, P.R. Cecon & J.E. Serrão. 2010.** Effect of azadirachtin on the control of *Anticarsia gemmatilis* and its impact on *Trichogramma pretiosum*. Phytoparasitica 38: 413-419.
- Asma, C., I. Ons, B.A. Sabrine & L.G. Kaouthar. 2018.** Life-stage-dependent side effects of selected insecticides on *Trichogramma cacoeciae* (Marchal) (Hymenoptera: Trichogrammatidae) under laboratory conditions. Phytoparasitica 46: 105-113.

- Asadi, M., H. Rafiee-Dastierdi, G. Nouri-Ganbalani, B. Naseri & M. Hassanpour. 2018.** The effects of plant essential oils on the functional response of *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) to its host. *Invertebr. Surv. Journ.* 15(1): 169-182.
- Bakkali, F., S. Averbeck, D. Averbeck & M. Idaomar. 2008.** Biological effects of essential oil – A review. *Food Chem Toxicol* 46:446– 475.
- Bedini, S., G. Flamini, F. Cosci, R. Ascrizzi, M.C. Echeverria, E.V. Gomez, L. Guidi, M. Landi, A. Lucchi & B. Conti. 2019.** Toxicity and oviposition deterrence of essential oils of *Clinopodium nibigenum* and *Lavandula angustifolia* against the myiasis-inducing blowfly *Lucilia sericata*. *PLoS One* 14(2): e0212576.
- Benelli, G., R. Pavela, A. Canale, K. Cianfaglione, G. Ciaschetti, F. Conti, M. Nicoletti, S. Senthil-Nathan, H. Mehlhorn & F. Maggi. 2017.** Acute larvicidal toxicity of five essential oils (*Pinus nigra*, *Hyssopus officinalis*, *Satureja montana*, *Aloysia citrodora* and *Pelargonium graveolens*) against the filariasis vector *Culex quinquefasciatus*: Synergistic and antagonistic effects. *Parasitology Internat.* 66: 166-171.
- Benvenga, S.R., S.A. Bortoli, S. Gravena & J.C. Barbosa. 2010.** Monitoramento da broca-pequena-do-fruto para tomada de decisão de controle em tomateiro estaqueado. *Hortic. Bras.* 28: 435-440.
- Bibiano, C.S., D.S. Alves, B.C. Freire, S.K.V. Bertolucci & G.A. Carvalho. 2022.** Toxicity of essential oils and purê compounds of Lamiaceae species against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and their safety for the nontarget organism *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Crop Protect.* 158: 106011.
- Carroll, J.F., G. Paluch, J. Coats & M. Kramer. 2010.** Elemol and amyris oil repel the ticks *Ixodes scapularis* and *Ablyomma americanum* (Acari: Ixodidae) in laboratory bioassays. *Exp. Appl. Acarol.* 51: 383-392.
- CONAB. 2023.** Série histórica – custos de produção de tomate de 2007 a 2022. Janeiro de 2023.
- Cruz, G.S., V. Wanderley-Teixeira, J.V. Oliveira, F.S.C. Lopes, D.R.S. Barbosa, M.O. Breda, K.A. Dutra, C.A. Guedes, D.M.A.F. Navarro & A.A.C. Teixeira. 2016.** Sublethal effects of essential oils from *Eucalyptus staigeriana* (Myrtales: Myrtaceae), *Ocimum gratissimum* (Lamiales: Lamiaceae), and *Foeniculum vulgare* (Apiales: Apiaceae) on the biology of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Econ. Entomol.* 109: 660-666.
- Delpuech, J.M. & M. Delahaye. 2013.** The sublethal effects of deltamethrin on *Trichogramma* behaviors during the exploitation of host patches. *Sci. Of the Total Environ.* 447: 274-279.
- Dong, H., Q. Liu, L. Xie, B. Cong & H. Wang. 2017.** Functional response of *Wolbachia*-infected and uninfected *Trichogramma dendrolimi* Matsumura (Hymenoptera: Trichogrammatidae) to Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* Guenée (Lepidoptera: Pyralidae) eggs. *Jour. of Asia-Pacific Entom.* 20: 787-793.

- Fanela, T.L.M., E.L.L. Baldin, L.E.R. Pannuti, P.L. Cruz, A.E.M. Crotti, R. Takeara & M.J. Kato. 2016.** Lethal and inhibitory activities of plant-derived essential oils against *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype B in tomato. *Neotrop. Entomol.* 45: 201-210.
- Farrokhi S., A. Ashouri, J. Shirazi, H. Allahyari & M.E. Huigens. 2010.** A comparative study on the functional response of *Wolbachia* infected and uninfected forms of the parasitoid wasp *Trichogramma brassicae*. *Insect Sci.* 10:167.
- Ferreira, T.P., K. Haddi, R.F.T. Corrêa, V.L.B. Zapata, T.B. Piau, L.F.N. Souza, S.M.G. Santos, E.E. Oliveira, L.O.V. Jumbo, B.M. Ribeiro, C.K. Grisolia, R.R. Fidelis, A.M.S. Maia & R.W.S. Aguiar. 2019.** Prolonged mosquitocidal activity of *Siparuna guianensis* essential oil encapsulated in chitosan nanoparticles. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 13(8): e0007624.
- Gravena, S. & S.R. Benvenega. 2003.** Manual prático para manejo ecológico de pragas do tomate. Jaboticabal, Gravena-Man Ecol LTDA 144p.
- Hassan, S.A., N. Halsall, A.P. Gray, C. Kuehner, M. Moll, F.M. Bakker, J. Roembke, A. Yousef, F. Nasr & H.A. Abdelgader. 2000.** A laboratory method to evaluate the side effects of plant protection products on *Trichogramma cacoeciae* Marchal (Hymenoptera: Trichogrammatidae), p. 107-119. In I.M.P. Candolf, S. Blümel, R. Forester, F.M. Bakker, C. Grimm, S.A. Hassam, U. Heimbach, M.A. Mead-Briggs, B. Reber, R. Schmuck & H. Vogt (eds.), Guidelines to evaluate side-effects of plant protection products to non-target arthropods. Gent, IOBC/WPRS.
- Heidarian, M., S.M. Masoumi & M. Asadi. 2021.** Chemical analyses of two plant essential oils and their effects on functional response of *Habrobracon hebetor* Say to *Sitotroga cerealella* Olivier larvae. *Acta Biolog. Szegedi.* 65(2): 211-220.
- Holling, C.S. 1959.** Some characteristics of simplotypes of predation and parasitism. *Canadian Entomol.* 91: 385-398.
- Holling, C.S. 1965.** The functional response of predators to prey density and its role in mimicry and population regulation. *Mem. Ent. Soc. Can.* 45:1-60.
- Holling, C.S. 1966.** The functional response of invertebrate predators to prey density. *Mem. Entomol. Soci. Can.* 48:1-86.
- Jankowska, M., J. Rogalska, J. Wyszowska & M. Stankiewicz. 2017.** Molecular target for components of essential oils in the insect nervous system – a review. *Molecules.* 23: 34.
- Juliano, S.A. 2020.** Nonlinear curve fitting: predation and functional response curves, p. 159-182. In: S.M. Cheiner & J. Gurven, (eds.), Design and analysis of ecological experiments. Londres, Chapman and Hall/CRC, 445p.

- Li, Y., A.S. Fabiano-Tixier, F. Chemat. 2014.** Essential oils as reagentes in green chemistry. London, Springer, (eBook).
- Manohar, T.N., P.L. Sharma, S.C. Verma, K.C. Sharma & R.S. Chandel. 2019.** Functional response of indigenous *Trichogramma* spp. to invasive tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick) under laboratory conditions. Int. J. Trop. Insect Sci. 40: 101-107.
- Milanez, A.M.; J.R. Carvalho, V.L.S. Lima & D. Pratissoli. 2018.** Functional response of *Trichogramma pretiosum* on *Trichoplusia ni* eggs at different temperatures and egg densities. Pesqui. Agropecu. Bras. 53: 641–645.
- Miresmailli, S. & M.B. Isman. 2014.** Botanical insecticides inspired by plant-herbivore chemical interactions. Trends Plant Sci. 19: 29-35.
- Moraes, M.M., T.M. Silva, R.R. Silva, C.S. Ramos & C.A.G. Câmara. 2014.** Circadian variation of essential oil from *Piper marginatum* Jacq. BLACPM 13:270–277 lil-768853.
- Morais, L.A.S. 2009.** Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. Hort Bras 27:4050–4063.
- Mossa, A.T.H. 2016.** Green pesticides: Essential oils as biopesticides in insect-pest management. International Journal of Environmental Science Technology, 9 (5): 354-378.
- Niculau, E.D.S., P.B. Alves, P.C.D.L. Nogueira, V.R.D.S. Moraes, A.P. Matos, A.R. Bernardo, A.C. Volante, J.B. Fernandes, M.F.G.F. Silva, A.G. Corrêa, A.F. Blank, A.C. Silva & L.D.P. Ribeiro. 2013.** Atividade inseticida de óleos essenciais de *Pelargonium graveolens* L'Herit e *Lippia alba* (Mill) NE Brown sobre *Spodoptera frugiperda* (JE Smith). Química Nova, 36, 1391-1394.
- Niculau, E.S., P.B. Alves, P.C.L. Nogueira, L.P.C. Romão, G.C. Cunha, A.F. Blank & A.C. Silva. 2020.** Chemical profile and use of the peat as an adsorbent for extraction of volatile compounds from leaves of geranium (*Pelargonium graveolens* L' Herit). Molecules. 25: 4923.
- Oliveira, R.C.M., P.L. Pastori, C.R. Coutinho, S.O. Juvenal & C.V.S. Aguiar. 2020.** Natural parasitism of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in *Neoleucinodes elegantalis* (Lepidoptera: Crambidae) eggs on tomato (Solanales: Solanaceae) in the Northeast region, Brazil. Brazilian Journal of Biology 80(2): 474-475.
- Oliveira, J.S. & C. Reigada. 2023.** Functional response and parasitism rate of *Trichogramma galloi* Zucchi (Hymenoptera: Trichogrammatidae), a parasitoid of eggs of sugarcane borer. Neotrop. Entomol. 52: 725-730.
- Paes, J.P.P., V.L.S. Lima, J.R. Carvalho & D. Pratissoli. 2018.** Functional response of two egg parasitoids of *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) genre on *Duponchelia fovealis* Zeller (Lepidoptera: Crambidae) eggs. JEA, 20: 1-7.

- Paluch, G., J. Grodnitzky, L. Bartholomay & J. Coats. 2009.** Quantitative structure – activity relationship of botanical sesquiterpenes: spatial and contact repellency to the yellow fever mosquito, *Aedes aegypti*. J. Agric. Food Chem. 57: 7618-7625.
- Park, H., & I. Park. 2012.** Larvicidal activity of *Amyris balsamifera*, *Daucus carota* and *Pogostemon cablin* essential oils and their components against *Culex pipiens pallens*. Jour. Asia-Pacific Entomo. 15: 631-634.
- Parreira, D.S., R. Alcántara-de la Cruz, G.L.D. Leite, F.S. Ramalho, J.C. Zanuncio & J.E. Serrão. 2018.** Quantifying the harmful potential of ten essential oils on immature *Trichogramma pretiosum* stages. Chemosphere 199:670–675.
- Parreira, D.S., R. Alcántara-de la Cruz, F.A.R. Dimaté, L.D. Batista, R.C. Ribeiro, G.A.R. Ferreira & J.C. Zanuncio. 2019.** Bioactivity of ten essential oils on the biological parameters of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) adults. Industrial Crops and Products, 127: 11-15.
- Pauliquevis, C.F. & S. Favero. 2015.** Atividade insetistática de óleo essencial de *Pothomorphe umbellata* sobre *Sitophilus zeamais*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 19 (12): 1192-1196.
- Pavela, R. 2016.** History, presence and perspective of using plant extracts as comercial botanical insecticides and farm products for protection against insects—a review. Plant Prot. Sci. 52: 229–241.
- Pavela, R. & G. Benelli. 2016.** Ethnobotanical knowledge on botanical repellents employed in the African region against mosquito vectors – a review. Exp. Parasitol. 167: 103–108.
- Pino, J.A., R. Marbot & V. Fuentes. 2006.** Aromatic plants from western Cuba. VI. Composition of the leaf oils of *Murraya exotica* L., *Amyris balsamifera* L., *Severinia buxifolia* (Poir.)Ten. and *Triphasia trifolia* (Burm. F.) P. Wilson. J. Essent. Oil Res. 18: 24-28.
- Prajapati, V., A.K. Tripathi, K.K. Aggarwal & S.P.S. Khanuja. 2005.** Insecticidal, repellent and oviposition-deterrent activity of selected essential oils against *Anopheles stephensi*, *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus*. Bioresour Technol 96: 1749–1757.
- Rashidi F, G. Nouri-Ganbalani & S. Imani. 2018.** Sublethal effects of some insecticides on functional response of *Habrobracon hebetor* (Hymneoptera: Braconidae) when reared on two lepidopteran hosts. J. Econ. Entomol. 111:1104–1111.
- Ray, A., B.G. Gadratagi, N. Budhlakoti, D.K. Rana, T. Adak, G.P.P. Govindharaj, N.B. Patil, A. Mahendiran & P.C. Rath. 2023.** Functional response of na egg parasitoid, *Trichogramma chilonis* Ishii to sublethal imidacloprid exposure. Pest Manag. Sci. 79: 3656-3665.
- Rios, N., E.E. Stashenko & J.E. Duque. 2020.** Evaluation of the insecticidal activity of essential oils and their mixtures against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). Rev. Bras. Ento. 61(7): 307-311.

Rogers, D. 1972. Random search and insect population models. *J. Anim. Ecol.* 41: 369-383.

Saber, M., M. Ghorbani, N. Vaez & A. Armak. 2020. Effects of diazinon and fipronil on functional response of *Trichogramma brassicae* Bezdenko (Hym.; Trichogrammatidae) in the laboratory conditions. *J. Crop Prot.* 9: 275-283.

Santana, M.L.G., V.W. Teixeira, C.A. Guedes, G.S. Cruz, M.C.N. Ferreira, K.A. Dutra, D.M.A.F. Navarro, R.S.M. Garcia, C.J.C.L. Neto, J.W.S. Melo & Á.A.C. Teixeira. 2022. Sublethal effects of some essential oils on the nutrition and biological parameters of *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae) and its selectivity to *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *International Journal of Tropical Insect Science* 42: 3609–3621.

Santos, G.K.N., K.A. Dutra, C.S. Lira, B.N. Lima, T.H. Napoleão, P.M.G. Paiva, C.A. Maranhão, S.S.F. Brandão & D.M.A.F. Navarro. 2014. Effects of *Croton rhamnifolioides* essential oil on *Aedes aegypti* oviposition, larval toxicity and trypsin activity. *Molecules* 19: 16573-16587.

Saraiva, L.C., A.F.I.M. Matos, L.F. Cossetin, J.C.M. Couto, L.S. Petry & S.G. Monteiro. 2020. Insecticidal and repellent activity of geranium essential oil against *Musca domestica* and *Lucilia cuprina*. *Int. J. Trop. Insect. Sci.* 40: 1093-1098.

SAS Institute. 2002. User's guide, version 8.02, TS level 2MO. SAS Institute INC., Cary, NC.

Seo, S.M., J. Kim, S.G. Lee, C.H. Shin, S.C. Shin & I.K. Park. 2009. Fumigant antitermitic activity of plant essential oils and components from ajowan (*Trachyspermum ammi*), allspice (*Pimenta dioica*), caraway (*Carum carvi*), dill (*Anethum graveolens*), geranium (*Pelargonium graveolens*), and litsea (*Litsea cubeba*) oils against Japanese termite (*Reticulitermes speratus* Kolbe). *Jour. Agri. and Food Chem.* 57(15): 6596-6602.

Sigsgaard, L., A. Herz, M. Korsgaard & B. Wührer. 2017. Mass release of *Trichogramma evanescens* and *T. cacoeciae* can reduce damage by the apple codling moth *Cydia pomonella* in organic orchards under pheromone disruption. *Insects* 8(2): 41.

Sombra, K.E.S., P.L. Pastori, C.V.S. Aguiar, T.P.P. André, S.J. Oliveira, M.G. Barbosa & D. Pratissoli. 2022. Selectivity of essential oils to the egg parasitoid *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Rev. Ciênc. Agron.* 53: e20207789.

Tabari, M.A., M.R. Youssefi, A. Esfandiari & G. Benelli. 2017. Toxicity of β -citronellol, geraniol and linalool from *Pelargonium roseum* essential oil against the West Nile and filariasis vector *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae). *Research in veterinary science*, 114: 36-40.

Tabebordbar, T., P. Shishehbor, M. Ziaee & F. Sohrabi. 2020. Lethal and sublethal effects of two new insecticides spirotetramat and flupyradifurone in comparison to conventional insecticide deltamethrin on *Trichogramma evanescens* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Jour. of Asia-Pacific Entom.* 23: 1114-1119.

- Thubru, D.P., D.M. Firake & G.T. Behere. 2016.** Assessing risks of pesticides targeting lepidopteran pests in cruciferous ecosystems to eggs parasitoid, *Thichogramma brassicae* (Bezdenko). Saudi Journ. of Biologic. Scien. 25: 680-688.
- Van Den Doll, H. & P.D.J.A. Kratz. 1963.** Generalization of the retention index system include linera temperature programmed gas-liquid partition chromatography, J. Chromatogr. 11: 464-471.
- Wei, L., H. Yang, H. Li, M. Zhu, S. Mi, Q. Lu, M. Liu & Y. Zu. 2022.** Comparison of chemical composition and activities of essential oils from fresh leaves of *Pelargonium graveolens* L' Herit. Extracted by hydrodistillation and enzymatic pretreatment combined with a solvent-free microwave extraction method. Industrial Crop & Products. 186: 115204.

Tabela 1. Perfil químico do óleo essencial de Sândalo (*Amyris balsamifera*)

Nº	Composto	IR ^L 1	IR ^C 2	% 3
1	Amorpha-4,11-diene	1449	1452	0,58
2	α -Acoradiene	1464	1457	0,15
3	β -Acoradiene	1469	1461	1,40
4	β -Chamigrene	1476	1476	0,26
5	γ -curcumene	1481	1480	0,69
6	α -Curcumene	1479	1483	2,36
7	α -Zingiberene	1493	1496	2,25
8	4-epi-Z-Dihydroagarofuran	1499	1501	1,21
9	β -Dihydro agarofuran	1503	1505	0,36
10	β -Bisabolene	1505	1509	1,08
11	7-epi- α -Selinene	1520	1518	0,57
12	β -Sesquiphellandrene	1521	1525	2,60
13	Selina-3,7(11)-diene	1545	1543	1,11
14	α -Agarofuran	1548	1547	0,83
15	Elemol	1548	1551	10,83
16	E-Nerolidol	1561	1564	0,42
17	Rosifoliol	1600	1603	0,81
18	Eudesmol <5-epi-7-epi- α ->	1607	1607	1,18
19	10-epi- γ -eudesmol	1622	1622	8,71
20	γ -Eudesmol	1634	1634	7,36
21	Hinesol	1640	1641	0,40
22	β -Eudesmol	1649	1653	10,69
23	Valerianol	1656	1657	23,94
24	Eudesmol 7-epi- α	1662	1662	10,63
25	Eudesm-7(11)-em-4-ol	1700	1697	0,31
26	Caryophyllene acetate	1701	1702	1,42
27	Bisabolone (6R,7R)	1740	1741	0,24
28	Bisabolone (6S,7R)	1748	1748	0,77
29	Drimenol	1766	1764	1,71
Total				94,87

¹IR^L Índice de Retenção de Kratz da Literatura (Adams, 2009); ²IR^C Índice de Retenção de Kratz

Calculado; ³% Porcentagem do composto.

Tabela 2. Perfil químico do óleo essencial de Gerânio (*Pelargonium graveolens*)

Nº	Composto	IR ^{L 1}	IR ^{C 2}	% ³
1	α -Pinene	932	930	0,24
2	Limonene	1024	1027	0,17
3	Linalool	1095	1099	2,09
4	Z-Rose oxide	1106	1110	0,89
5	E-Rose oxide	1122	1127	0,35
6	Menthone	1148	1152	2,11
7	<iso->Menthone	1158	1163	4,48
8	α -Terpineol	1186	1190	0,16
9	Citronellol	1223	1228	22,07
10	Neral	1235	1241	1,18
11	Geraniol	1249	1254	12,69
12	Geranial	1264	1271	0,86
13	Citronellyl formate	1271	1275	11,63
14	Neryl formate	1280	1281	1,93
15	Geranyl formate	1298	1302	6,14
16	α -Cubebene	1351	1350	0,14
17	Citronellyl acetate	1350	1354	0,38
18	α -Copaene	1374	1376	0,46
19	β -Bourbonene	1387	1385	1,76
20	β -Elemene	1389	1392	0,19
21	E-Caryophyllene	1417	1419	2,73
22	β -Copaene	1430	1429	0,11
23	α -Guaiene	1437	1439	0,64
24	<6,9>Guaiadiene	1442	1444	9,93
25	Aromadendrene	1439	1449	0,80
26	α -Humulene	1452	1454	0,91
27	<allo->Aromadendrene	1458	1461	0,17
28	Geranyl propanoate	1476	1475	1,24
29	Germacrene D	1480	1482	0,89
30	β -Selinene	1489	1487	0,64
31	Valencene	1496	1495	0,19
32	α -Muurolene	1500	1500	0,28

33	δ -Amorphene	1511	1508	0,15
34	γ -Cadinene	1513	1514	0,49
35	δ -Cadinene	1522	1524	1,46
36	Citronellyl butanoate	1530	1529	0,68
37	E-Cadina-1,4-diene	1533	1533	0,22
38	Furopolargone A	1538	1541	0,74
39	Geranyl butanoate	1562	1562	1,29
40	Caryophyllenoxide	1582	1584	0,81
41	Geranyl 2-methyl butanoate	1601	1603	0,34
42	Humulene epoxide II	1608	1610	0,23
43	<1,10-di-epi->-Cubenol	1618	1616	0,38
44	<1-epi->-Cubenol	1627	1630	0,23
45	Cubenol	1645	1644	0,23
Total				95,70

¹IR^L Índice de Retenção de Kratz da Literatura (Adams, 2009); ²IR^C Índice de Retenção de Kratz

Calculado; ³% Porcentagem do composto.

Tabela 3. Curva concentração-mortalidade de ovos de *Neoleucinodes elegantalis* dos óleos essenciais de *Amyris balsamifera* e *Pelargonium graveolens*. Temperatura: 25± 2 °C. RH: 70 ± 10 % e fotofase de 12 h.

Tratamentos	N ¹	GL ²	Inclinação (±EP)	CL ₅₀ (µL/mL) (IC 95%) ³	CL ₃₀ (µL/mL) (IC 95%) ⁴	(χ^2) ⁵	P
<i>Amyris balsamifera</i>	100	4	0,23 ± 0,19	0,078 (0,04 – 0,14)	0,032 (0,012 – 0,059)	15,82	0,003
<i>Pelargonium graveolens</i>	100	4	0,26 ± 0,10	0,0081 (0,006 – 0,010)	0,0034 (0,0027 – 0,0041)	4,069	0,39

¹ Número de ovos por tratamento; ²Grau de liberdade; ³Concentração letal 50; ⁴Concentração letal 30; ⁵Qui-quadrado.

Tabela 4. Porcentagem de redução do parasitismo de *Trichogramma pretiosum* tratado com *Pelargonium graveolens*, *Amyris balsamifera*, azadiractina e deltametrina e classificação quanto à seletividade.

Tratamentos	RP ¹	Classe ²
Controle	-	-
<i>P. graveolens</i>	60,46	2
<i>A. balsamifera</i>	100	4
Azadiractina	18,6	1
Deltametrina	97,67	3

¹RP: Redução de parasitismo; ²Índice de toxicidade estabelecido pelo IOBC/WPRS (1992), no qual: classe 1 = inócuo; classe 2 = levemente nocivo; classe 3 = moderadamente nocivo; classe 4 = nocivo.

Tabela 5. Equação de Holling linearizada e tipo de resposta funcional de *Trichogramma pretiosum* parasitando *Neoleucinodes elegantalis*.

Tratamentos	Equação Linear de Holling	χ^2	DF	P	Coeficientes de regressão				
					I ¹ (P)	L ² (P)	Q ³ (P)	C ⁴ (P)	Tipo ⁵
Controle	$y = \frac{\exp [(0.00054x^2) - (0.07150x) - 0.70]}{1 + \exp [(0.00054x^2) - (0.07150x) - 0.70]}$	697.65	97	<.001	-0.70 (<.001)	-0.0715 (<.001)	0.00054 (<.001)		II
Deltametrina	$y = 0.02$								
Azadiractina	$y = \frac{\exp [(-0.0015x^2) + (0.051x) - 1.51]}{1 + \exp [(-0.0015x^2) + (0.051x) + 1.51]}$	611.0	97	<.001	-1.51 (<.001)	0.051 (<.001)	-0.0015 (<.001)		III
<i>P. graveolens</i>	$y = \frac{\exp [-(0.054x) - 0.71]}{1 + \exp [-(0.054x) - 0.71]}$	648.58	98	<.001	-0.71 (<.001)	-0.054 (<.001)			II
<i>A. balsamifera</i>	$y = \frac{\exp [(0.0001x^3) - (0.01x^2) + (0.18x) - 1.99]}{1 + \exp [(0.0001x^3) - (0.01x^2) + (0.18x) - 1.99]}$	621.98	96	<.001	-1.99 (<.001)	0.18 (0.003)	-0.01 (<.001)	0.0001 (<.001)	II

¹ Intercepto; ²Linear; ³Quadratica; ⁴Cubica; ⁵Tipo de resposta funcional.

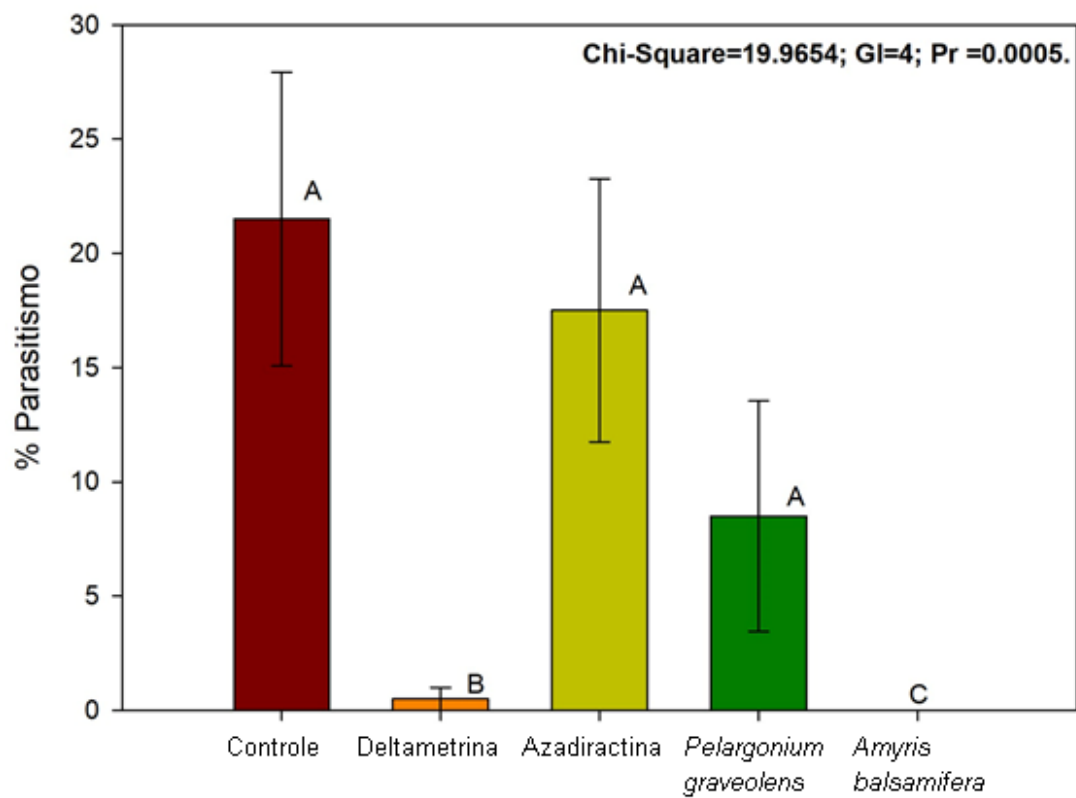


Figura 1: Parasitismo médio de *Trichogramma pretiosum* expostas a aos óleos essenciais e inseticidas sobre ovos de *Neoleucinodes elegantalis*.

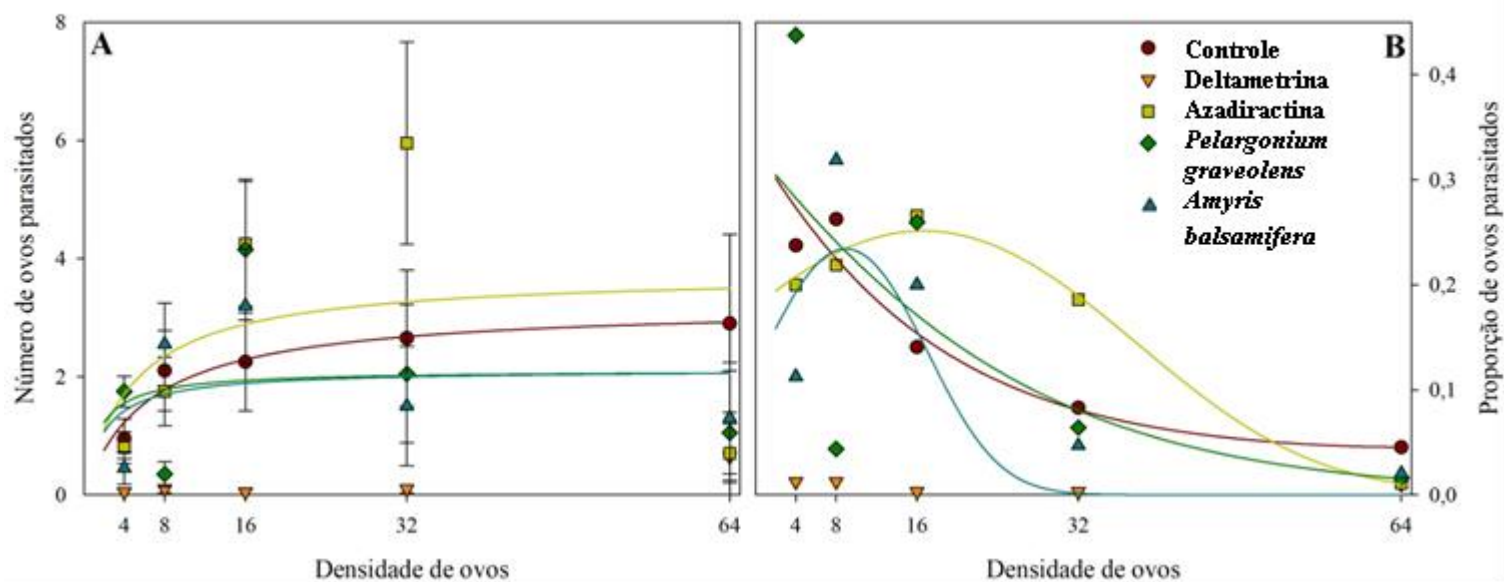


Figura 2. Curvas de resposta funcional de *Trichogramma pretiosum* parasitando densidades crescentes de ovos de *Neoleucinodes elegantalis* após exposição a aos óleos essenciais e inseticidas (A) e proporções de parasitismo de ovos pelo parasitoide (B). As linhas representam os valores estimados pela resposta funcional a partir da equação de Holling.

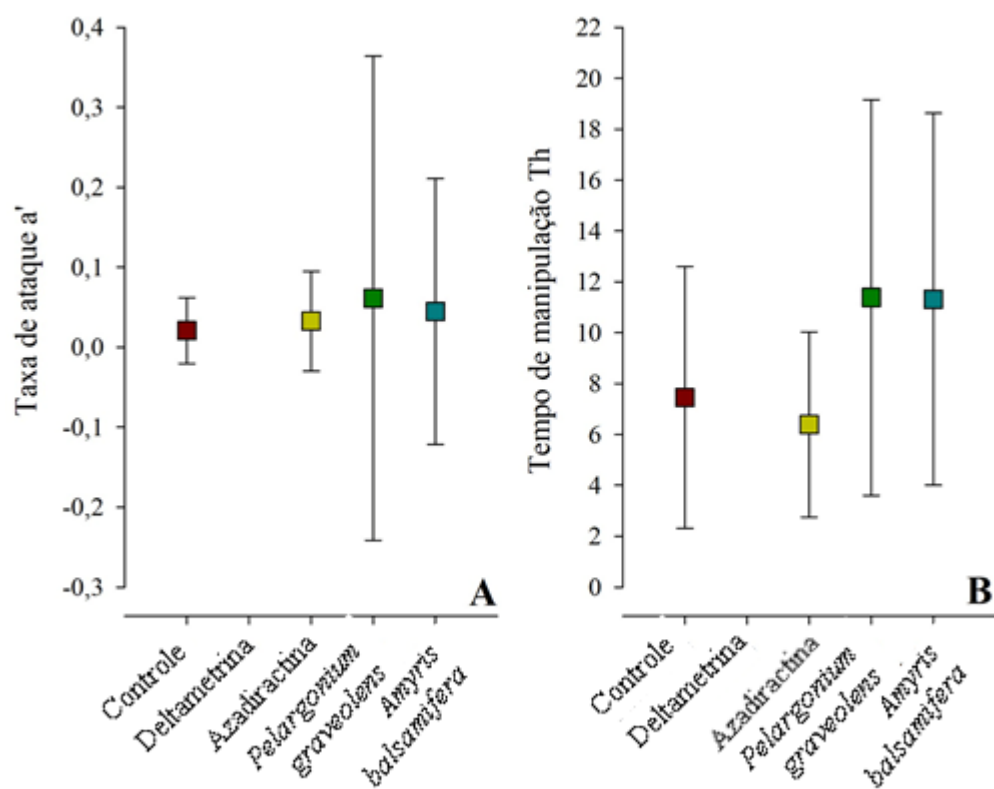


Figura 3. Taxa de ataque (em unidade de hospedeiros parasitados pelo parasitoide por unidade de tempo de busca) (A) e tempo de manipulação (tempo médio para parasitismo dos hospedeiros) (B).

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conciliar métodos de controle, a exemplo do químico e biológico, no Manejo Integrado de Pragas é tarefa importante, contudo bastante desafiadora, visto uma possível incompatibilidade entre eles, por isso pesquisas que elucidem questões relacionadas a estas associações são imprescindíveis.

Neste trabalho, foi avaliada a influência dos óleos *O. majorana* e *C. officinalis* e dos inseticidas azadiractina e deltametrina sobre gônadas de *N. elegantalis*, e constatou-se que os óleos apresentaram efeitos subletais, alterando parâmetros fisiológicos e histoquímicos importantes para a reprodução do inseto, com destaque para *O. majorana* que causou maiores danos à gametogênese, o que pode comprometer o sucesso reprodutivo de *N. elegantalis*.

Também foi possível observar o efeito tóxico dos óleos *P. graveolens* e *A. balsamifera* no controle de *N. elegantalis*, e o efeito dos óleos essenciais e dos inseticidas azadiractina e deltametrina no seu inimigo natural, o parasitoide de ovos *T. pretiosum*. Todos os óleos apresentaram efeitos subletais, apresentando toxicidade a *N. elegantalis*, contudo o óleo de *P. graveolens* e o inseticida azadiractina se destacaram, pois ocasionaram efeitos adversos nesta praga e não comprometeram o desempenho de *T. pretiosum*.

Neste trabalho, para os óleos essenciais foi encontrada curva resposta do tipo II e para o inseticida azadiractina uma resposta do tipo III. Os óleos estudados e o inseticida azadiractina não diferiram quanto ao tempo de manipulação e taxa de ataque o que evidencia maior compatibilidade quando integrado ao parasitoide, no manejo da praga.

O conhecimento dos parâmetros biológicos e da resposta funcional é básico para qualquer investigação das relações parasitoide-hospedeiros e influenciam na forma como os parasitoides para o controle biológico poderão ser utilizados, de modo a obter a melhor eficiência na associação de diferentes métodos.

A utilização dos óleos essenciais, objeto desse estudo, visa uma alternativa de controle promissora que poderá ser aproveitada no controle dessa praga, com destaque aos óleos de *O. majorana* e *P. graveolens*, tendo este último demonstrado toxicidade ao inseto-praga sem comprometer o desempenho do parasitoide.