ADRIELE DE CASTRO FERREIRA

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E AVALIAÇÃO DOS EFEITOS LETAIS E SUBLETAIS DE ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE *Oligonychus punicae* (HIRST, 1926) (ACARI: TETRANYCHIDAE) EM MUDAS CLONAIS DE *Eucalyptus grandis*

TERESINA - PI

2024

ADRIELE DE CASTRO FERREIRA

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E AVALIAÇÃO DOS EFEITOS LETAIS E SUBLETAIS DE ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE *Oligonychus punicae* HIRST, 1926 (ACARI: TETRANYCHIDAE) EM MUDAS CLONAIS DE *Eucalyptus grandis*

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Agronomia, com área de concentração Manejo de Espécies Vegetais, para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador

Dr. Douglas Rafael e Silva Barbosa

Coorientador(a)

Dra. Solange Maria de França

TERESINA – PI

2024

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial CCA
Serviço de Representação Temática da Informação

F383c Ferreira, Adriele de Castro.
Caracterização química e avaliação dos efeitos letais e subletais de óleos essenciais sobre *Oligonychus punicae Hirst,* 1926 *(*Acari: Tetranychidae) em mudas clonais de *Eucalyptus grandis.* / Adriele de Castro Ferreira. -- 2024.
58 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2025.
"Orientador: Prof. Dr. "Douglas Rafael e Silva Barbosa."

1. Acaricida botânico. 2. Terpenoides. 3. Tetraniquídeos, 4. Toxicidade. I. Barbosa, Douglas Rafael e Silva. II. Título.

CDD 632.94

Bibliotecário: Rafael Gomes de Sousa - CRB3/1163

ADRIELE DE CASTRO FERREIRA

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E AVALIAÇÃO DOS EFEITOS LETAIS E SUBLETAIS DE ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE *Oligonychus punicae* HIRST, 1926 (ACARI: TETRANYCHIDAE) EM MUDAS CLONAIS DE *Eucalyptus grandis*

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Agronomia, com área de concentração Manejo de Espécies Vegetais, para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Aprovada em:

gov.br Documento assinado digitalmente
LUCIANA BARBOZA SILVA
Data: 13/01/2025 20:01:50-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dra. Luciana Barboza Silva – UFPI

gov.br Documento assinado digitalmente
LUCIA DA SILVA FONTES
Data: 13/01/2025 16:38:38-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dra. Lucia da Silva Fontes - UFPI

gov.br Documento assinado digitalmente
ROSENYA MICHELY CINTRA FILGUEIRAS
Data: 13/01/2025 13:52:05-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dra. Rosenya Michely Cintra Filgueiras - IFPI

gov.br Documento assinado digitalmente
SOLANGE MARIA DE FRANCA
Data: 13/01/2025 08:17:53-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dra. Solange Maria de França – UEMA

gov.br Documento assinado digitalmente
DOUGLAS RAFAEL E SILVA BARBOSA
Data: 11/01/2025 09:45:00-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr. Douglas Rafael e Silva Barbosa - IFMA
Orientador

TERESINA – PI

2024

Às minhas mães Francineide Castro e Maria Santana de Castro por todo amor, confiança, encorajamento e força em todos os dias da minha vida.

Aos meus pais Carlos Roberto Ferreira e Messias Andrade pelo suporte em todas as vezes que precisei.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal do Piauí (UFPI) e a CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela oportunidade de desenvolver esse trabalho, com recursos e bolsa de financiamento.

Agradeço a Deus por me agraciar com suas misericórdias renovadas a cada manhã, por sua proteção e por me dá forças para nunca desistir.

As minhas mães, Francineide de Castro e Maria Santana de Castro Ferreira, por serem tudo na minha vida e principalmente minha força. Aos meus pais, Carlos Roberto Ferreira e José Messias Andrade, pelo apoio e por sempre terem feito o melhor por mim. Agradeço por todo amor, apoio, compreensão e cuidado, sem a contribuição de vocês nada disso teria sido possível.

Agradeço profundamente a toda minha família, que sempre acreditou no meu potencial. Em especial, às minhas tias Francinete, Francilene e Francileia de Castro, que são meus exemplos de companheirismo e perseverança. Aos meus queridos irmãos e irmãs (são muitos!), por estarem sempre ao meu lado, trazendo leveza e alegria a essa jornada chamada vida. A presença de cada um de vocês foi essencial para que eu chegasse até aqui, e sou imensamente grata por tê-los ao meu lado.

À minha melhor amiga e companheira de vida, Helane Cristina de Andrade Rodrigues Severo, por todo amor, paciência e apoio. Sou grata por sempre me motivar e acreditar em mim, mesmo quando eu duvido.

Agradeço ao meu orientador, Douglas Rafael e Silva Barbosa, pela oportunidade, confiança e dedicação ao meu desenvolvimento. Sua serenidade, paciência e competência aliadas à constante disponibilidade, fazem de você um profissional e uma pessoa verdadeiramente excepcionais. Aos meus coorientadores Solange Maria de França e Paulo Roberto Ramalho Silva, pelos ensinamentos valiosos e contribuições para realização desta pesquisa.

Aos amigos do Laboratório de Entomologia, que fizeram os dias menos cansativos e mais tranquilos. Em especial Eslane, Rodrigo, Franciele e Rosenya que sempre me auxiliaram em muitos experimentos. Aos colegas do Entomol que também muito fizeram para esta pesquisa acontecer. Minha gratidão a todos.

RESUMO

Os óleos essenciais tem sido alvo de pesquisas na busca por ferramentas sustentáveis para o manejo de ácaros fitófagos. Entretanto, ainda são poucas as pesquisas sobre os efeitos de óleos sobre *Oligonychus punicae* Hirst (Acari: Tetranychidae). Assim, este estudo teve como objetivo caracterizar quimicamente os óleos essenciais de *Alpinia zerumbet* (Pers.), *Bixa orellana* L., *Mesosphaerum suaveolens* L. (Kuntze) e *Syzygium cumini* (L.) Skeel, e avaliar seus efeitos letais e subletais sobre esse ácaro. A extração dos óleos ocorreu por hidrodestilação a vapor e estes foram caracterizados quimicamente por meio de cromatografia gasosa e espectrometria de massas. A toxicidade dos óleos foi testada sobre fêmeas adultas de *O. punicae*. As concentrações letais e subletais foram calculadas para cada óleo. O efeito ovicida foi determinado a partir das CL_{50} e CL_{90} dos óleos essenciais. Para verificar a taxa instantânea de crescimento populacional (r_i) utilizou-se as concentrações CL_{20} e CL_{30}. O efeito repelente foi verificado através de teste com chance de escolha, em que foram utilizados discos foliares tratados com os óleos essenciais nas CL_{20} e CL_{30} e discos foliares não tratados. Calculou-se o índice de repelência (IR) e a porcentagem de repelência dos óleos. Os óleos apresentaram compostos majoritários (<5%) que variaram em abundância relativa, e foram caracterizados predominantemente por monoterpenoides e sesquiterpenos. Os óleos apresentaram toxicidade sobre *O. punicae*, sendo o *B. orellana* (0,55 µl/mL) o mais tóxico na CL_{50} e este não diferiu de *A. zerumbet* na CL_{90}, em que foram mais tóxicos que *S. cumini*, sendo 9,1 e 5,6 vezes considerando as Razões de Toxicidade (RT). Os óleos apresentaram efeito ovicida, reduzindo a viabilidade dos ovos em mais de 50%, o óleo de *S. cumini* na CL_{90} apresentou 79,25% de ovos não eclodidos. A r_i foi positiva mesmo após a aplicação dos óleos, mas estes foram capazes de reduzir o crescimento populacional do ácaro em comparação com o tratamento controle. Menores taxas de r_i foram obtidas na CL_{20} para o óleo de *M. suaveolens* (0,20). Todos os óleos foram classificados como repelentes em ambas as concentrações subletais. Os dados de atração de ácaros para discos não tratados e tratados com os óleos essenciais confirmaram o efeito repelente, sendo o óleo de *A. zerumbet* o óleo com maiores porcentagens de repelência nas CL_{20} e CL_{30}. Os óleos testados se mostraram promissores quanto a atividade acaricida, e apresentaram compostos químicos capazes de causar efeitos letais e subletais sobre *O. punicae*.

Palavras-chave: Acaricida botânico, toxicidade, tetraniquídeos, terpenoides.

ABSTRACT

Essential oils have been the focus of research in the search for sustainable tools for managing phytophagous mites. However, there are still few studies on the effects of oils on *Oligonychus punicae* Hirst (Acari: Tetranychidae). Thus, this study aimed to chemically characterize the essential oils of *Alpinia zerumbet* (Pers.), *Bixa orellana* L., *Mesosphaerum suaveolens* L. (Kuntze), and *Syzygium cumini* (L.) Skeel, and to evaluate their lethal and sublethal effects on this mite. The oils were extracted by steam hydrodistillation and chemically characterized using gas chromatography and mass spectrometry. The toxicity of the oils was tested on adult females of *O. punicae*. Lethal and sublethal concentrations were calculated for each oil. The ovicidal effect was determined using the LC_{50} and LC_{90} of the essential oils. To assess the instantaneous population growth rate (r_i), the LC_{20} and LC_{30} concentrations were used. The repellent effect was verified through a choice test, using leaf discs treated with the essential oils at LC_{20} and LC_{30} and untreated leaf discs. The repellency index (RI) and the percentage of repellency were calculated for the oils. The oils presented major compounds (<5%) with varying relative abundance and were predominantly characterized by monoterpenoids and sesquiterpenes. The oils showed toxicity against *O. punicae*, with *B. orellana* (0.55 µl/mL) being the most toxic at LC_{50}, not differing from *A. zerumbet* at LC_{90}, where both were more toxic than *S. cumini*, being 9.1 and 5.6 times more toxic based on the Toxicity Ratios (TR). The oils exhibited ovicidal effects, reducing egg viability by more than 50%, with *S. cumini* oil at LC_{90} resulting in 79.25% non-hatched eggs. The r_i remained positive even after oil application, but the oils were able to reduce the mite's population growth compared to the control treatment. Lower r_i rates were obtained at LC_{20} for *M. suaveolens* oil (0.20). All oils were classified as repellents at both sublethal concentrations. The data on mite attraction to untreated and oil-treated discs confirmed the repellent effect, with *A. zerumbet* oil showing the highest repellency percentages at LC_{20} and LC_{30}. The tested oils proved promising for their acaricidal activity and presented chemical compounds capable of causing both lethal and sublethal effects on *O. punicae*.

Keywords: Botanical acaricide, toxicity, tetranychids, terpenoids.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 11
2.1 Ácaros fitófagos 11
2.1.1 Família Tetranychidae 13
2.1.1.1 *Oligonychus punicae* Hirst (1926) 14
2.2 Impactos de ácaros em mudas de eucalipto 15
2.3 Acaricidas botânicos 17
2.3.1 Óleos essenciais como agentes acaricidas 18
2.3.2 Efeitos letais e subletais de óleos essenciais 19
2.3.3 *Alpinia zerumbet* 20
2.3.4 *Bixa orellana* 21
2.3.5 *Mesosphaerum suaveolens* 22
2.3.6 *Syzygium cumini* 22
3 METODOLOGIA 23
3.1 Local de estudo 23
3.2 Coleta das plantas para extração dos OEs e identificação do material botânico 24
3.3 Caracterização química dos OEs 24
3.4 Criação de *O. punicae* 25
3.5 Toxicidade dos OEs sobre fêmeas adultas de *O. punicae* 26
3.6 Efeito ovicida 27
3.7 Taxa instantânea de crescimento populacional (r_i) 28
3.8 Atividade repelente 28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 29
4.1 Caracterização química dos OEs 29
4.2 Toxicidade dos OEs sobre fêmeas adultas de *O. punicae* 34
4.3 Efeito ovicida 36
4.4 Taxa instantânea de crescimento populacional (r_i) 38
4.5 Atividade repelente 39
5 CONCLUSÃO 42
REFERÊNCIAS 42

1 INTRODUÇÃO

Oligonychus punicae (Hirst) (Acari: Tetranychidae) é um ácaro nativo do México, polífago e se alimenta de cerca de 34 espécies vegetais principalmente na região adaxial das folhas (Ferraz *et al*., 2019; Castro *et al*., 2021). A alimentação de *O. punicae* ocorre por meio da inserção do estilete no tecido vegetal, esse processo ocasiona a perda da clorofila e resulta em manchas cloróticas nas folhas e redução da taxa fotossintética, podendo levar à desfoliação completa e morte da planta (Hoy, 2011).

Entre as culturas afetadas por *O. punicae*, destacam-se espécies de eucalipto, como *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake*, Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus globulus* Labill, que são suscetíveis a injúrias, especialmente em mudas clonais (Ferraz *et al*., 2019; 2020). Além dos danos diretos, o acúmulo de fezes, teias e desfolha pode reduzir o valor comercial das mudas, causando perdas econômicas significativas (Attia *et al*., 2013). No Brasil, onde *Eucalyptus* spp. ocupa 76% da área de plantios florestais (IBÁ, 2023) e a silvicultura clonal tem sido uma estratégia para maximizar a produtividade (Silva *et al*., 2022) o manejo eficaz dessa praga é essencial para preservar a produtividade e o valor dessa importante cultura.

O controle de ácaros tem sido realizado predominantemente com o uso de inseticidas e acaricidas sintéticos (Camilo *et al*., 2017). No entanto, para a espécie *O. punicae*, não há registro de acaricidas sintéticos aprovados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (Brasil, 2024), evidenciando a necessidade de ferramentas para o manejo dessa praga. Nesse contexto, as propriedades biológicas de plantas têm ganhado destaque, impulsionando sua aplicação em estratégias de Manejo Integrado de Pragas (MIP) como ferramenta sustentável e de menor impacto ambiental (Guerrine *et al*., 2023).

O potencial de produtos botânicos se dá pela ocorrência de moléculas com ação repelente de insetos ou biopesticida. Várias abordagens para o manejo de ácaros usando produtos à base de plantas foram propostas nos últimos anos (Santos *et al*., 2022; Segovia *et al*., 2022; Cua-Basulto *et al*., 2023; Gomes *et al*., 2023). Dentre os produtos naturais derivados de plantas, os Óleos Essenciais (OEs) têm sido amplamente testados e numerosos estudos demonstraram que OEs têm atividade acaricida (Ataide *et al*., 2020; Piramoon *et al*., 2021; Briozo *et al*., 2022; Souza *et al*., 2022; Susurluk, 2023; Konwar *et al*., 2023).

Os OEs, compostos majoritariamente por terpenos, são metabólitos secundários de plantas aromáticas e apresentam múltiplos mecanismos de ação, como mortalidade, repelência e inibição do desenvolvimento e reprodução de pragas (Shlosman *et al*., 2023). Sua eficácia depende dos constituintes químicos e das espécies vegetais de origem, plantas como *Alpinia zerumbet* (Pers.), *Bixa orellana* L., *Mesosphaerum suaveolens* L. (Kuntze) e *Syzygium cumini* (L.) Skeels destacam-se por suas propriedades antioxidantes, antifúngicas, antibacterianas, inseticidas e acaricidas (Aglagane *et al*., 2021; Hirko; Getu, 2022).

Nas espécies mencionadas, foram identificados monoterpenos e outros compostos, como 1,8-cineol, β-cariofileno, terpinen-4-ol e α-pineno (Victório; Riehl; Lage, 2009; Mallavarapu *et al*., 2011; Jezler et al., 2013; Feng *et al*., 2021), estudos que avaliaram OEs contendo esses compostos evidenciaram sua eficácia, demonstrando efeitos significativos na mortalidade e repelência de ácaros (Miresmailli, Bradbury e Isman, 2006; Nerio, Olivero-Verbel e Stashenko, 2010). Portanto, a investigação dos compostos químicos presentes nessas plantas é fundamental para compreensão das propriedades biológicas dos OEs.

Nesse contexto, presume-se que os OEs de *A. zerumbet*, *B. orellana*, *M. suaveolens* e *S. cumini* possuem componentes capazes de promover atividade acaricida sobre *O. punicae*. Assim, este estudo teve como objetivo caracterizar quimicamente os OEs dessas espécies vegetais e avaliar seus efeitos letais e subletais sobre esse ácaro.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Ácaros fitófagos

Os ácaros estão classificados dentro do filo Arthropoda, pertencem ao subfilo Chelicerata, classe Arachnida e subclasse Acari (Hoy, 2011). A classe dos aracnídeos é a segunda maior dentro do filo dos artrópodes, ficando atrás somente do grupo dos insetos (Kranz; Walter, 2009). Ácaros estão espalhados por uma ampla gama de habitats, são encontrados em quase todos os ambientes terrestres e aquáticos. Podem ser parasitas ou de vida livre, alimentando-se de animais, vegetais, fungos, musgos, produtos armazenados, restos animais e vegetais, excrementos e até mesmo de outros ácaros (Fu *et al*., 2021; Queiroz; Soliman; Burckhardt, 2021).

Os ácaros fitófagos são pequenos artrópodes que representam pragas de grande relevância agrícola devido à sua capacidade de causar danos em diversas culturas ao redor do mundo. Estes organismos podem se alimentar tanto da parte aérea quanto subterrânea das plantas, sendo capazes de se adaptar a diferentes condições ambientais (Leeuwen *et al*., 2015; Nexticapan-Garcéz *et al*., 2021). Além disso, podem ser polífagos, possuindo diversas fontes alimentares, ou altamente específicos, dependendo do gênero ou espécie (Queiroz; Soliman; Burckhardt, 2021).

As quelíceras dos ácaros fitófagos tornaram-se semelhantes a estiletes, sendo capazes de penetrar os tecidos vegetais a profundidades de até 100 micrômetros (Hoy, 2011). Ao perfurarem as folhas, eles removem o conteúdo celular parenquimático, resultando em danos significativos à planta. Esses danos podem provocar uma série de reações fisiológicas e morfológicas, como queda prematura de folhas e frutos, inibição da fotossíntese, alterações na quantidade e composição dos pigmentos foliares, além de necrose celular. Tais efeitos se manifestam externamente na forma de descoloração e manchas nas folhas, enrolamento foliar, redução do crescimento, morte foliar e, em casos extremos, morte da planta (Flechtmann, 1989; Pereira *et al*., 2005; Queiroz; Soliman; Burckhardt, 2021). Altas infestações, se não mantidas abaixo dos níveis de danos econômicos, representam uma ameaça significativa a produtividade das culturas hospedeiras (Leeuwen *et al*., 2015).

A maioria dos ácaros fitófagos possui um ciclo de vida curto, composto por diferentes estágios de desenvolvimento, que variam em morfologia, mas sempre tem início a partir de um ovo. A relevância dessas pragas torna-se evidente, uma vez que tanto os estágios imaturos quanto os adultos se alimentam do conteúdo celular vegetal utilizando seus estiletes quelíceros. Com o avanço da alimentação, os tecidos foliares são progressivamente danificados, levando à necrose e eventual morte das folhas (Farahani; Bandani; Amiri, 2020).

Ácaros são responsáveis por perdas estimadas em até 30% dos custos totais com inseticidas em culturas de grande importância econômica (Rincón; Rodríguez; Coy-Barrera, 2019). Em vista disso, a compreensão detalhada sobre esses organismos é crucial para o desenvolvimento de estratégias eficazes de manejo, ao ponto que o conhecimento multidisciplinar na interfase planta-praga é fundamental para integrar diversas práticas e promover um manejo integrado de pragas (Santamaria *et al*., 2018).

2.1.1 Família Tetranychidae

A família Tetranychidae, pertencente à subordem Prostigmata (Acari: Trombidiforme), é uma das mais importantes entre os ácaros. Ela é composta por aproximadamente 70 gêneros agrupados em duas subfamílias: Bryobinae e Tetranychinae, sendo que a maioria das pragas agrícolas está concentrada na subfamília Tetranychinae (Hoy, 2011). Tetranychidae inclui ácaros-praga de grande relevância global, considerados importantes tanto na agricultura quanto na silvicultura, além de serem encontrados em árvores frutíferas, culturas de campo e plantas ornamentais (Ebadollahi *et al*., 2017).

Os ácaros da família Tetranychidae são estritamente fitófagos, e tem como característica o rápido desenvolvimento, curto ciclo de vida e alta taxa de reprodução. Essas características permitem que esses organismos alcancem taxas populacionais prejudiciais em condições ambientais favoráveis (Ferraz *et al*., 2019). Aproximadamente 1.250 espécies dessa família são conhecidas por se alimentarem de 3.877 espécies vegetais diferentes (Hoy, 2011; Heinz-Castro *et al*., 2021).

O ciclo de vida de ácaros da família Tetranychidae inclui os estágios de ovo, larva, protoninfa, deutoninfa e adultos. Os ovos podem ser ovoides, cilíndrico, globoso e ainda possuir uma arista de fixação, as cores variam entre esverdeado, alaranjado, verde intenso ou vermelho. A larva nasce incolor e translúcida, com tamanho aproximado ao do ovo, e muda gradativamente de cor à medida que se alimenta. A protoninfa é mais oval em comparação à larva, enquanto a deutoninfa é maior que a protoninfa, e nessa fase o dimorfismo sexual se torna evidente (Moraes e Flechtmann, 2008; Rincón; Rodríguez; Coy-Barrera, 2019).

Na fase larval, os ácaros apresentam três pares de pernas (hexápodes), enquanto nas fases subsequentes, possuem quatro pares (octópodes). As fases supracitadas são as fases ativas do ciclo de vida dos ácaros, no entanto, os tetraniquídeos passam por fases quiescentes, em que permanecem imóveis, sem se alimentar, enquanto ocorre a troca do tegumento e mudanças morfofisiológicas. Essas fases recebem denominações específicas, como protocrisálida, deutocrisálida e teliocrisálida (Moraes; Flechtmann, 2008; Reis, 2010).

Quando os tetraniquídeos acasalam, o macho insere seu edeago na fêmea para depositar esperma, dobrando seu idiossoma para cima. Fêmeas acasaladas depositam ovos fertilizados e não fertilizados. A maioria dos tetraniquídeos

desenvolvem partenogênese arrenótoca, onde fêmeas não acasaladas produzem ovos haploides que se desenvolvem em machos. A endogamia é comum, e as fêmeas tendem a depositar seus ovos em uma única folha, e por isso irmãos e irmãs frequentemente acasalam. Devido a endogamia os tetraniquídeos têm variabilidade genética suficiente para se adaptar rapidamente a novas condições ambientais (Hoy, 2011).

Muitos Tetranychidae depositam seus ovos entre fios de teia, e inclusive os ácaros dessa família são conhecidos como ácaros-aranha ou “spider mites”, e são chamados dessa forma porque muitos membros possuem a capacidade de produzir teia de seda a partir de glândulas que se abrem no tarso dos pedipalpos. As teias auxiliam na proteção, controle da umidade, atração sexual e dispersão (Ebadollahi *et al*., 2017). A grande maioria dos tetraniquídeos tem preferência alimentar pela parte inferior das folhas (abaxial) a exemplo dos gêneros *Tetranychus* e *Panonychus,* mas, a parte superior (adaxial) é preferida por ácaros do gênero *Oligonychus*, e em caso de ataques intensos os ácaros podem ser encontrados em ambas as faces foliar (Reis, 2010).

O gênero *Oligonychus* teve seu primeiro relato em abacateiros nas ilhas Canárias em 1986 (Torres *et al*., 2024). Espécies deste gênero tem sido relatada alimentando-se de mangueira, cafeeiro, videira, eucalipto, abacate, dentre outras (Reis; Zacarias, 2007; Vásquez *et al*., 2008; Santos *et al*., 2022; Mushtaq *et al*., 2023). Com ampla gama de hospedeiros, espécies desse gênero vem ganhando destaque devido a seu potencial biótico, ampla distribuição e sua capacidade de causar dano severo em várias culturas comerciais, sendo consideradas pragas economicamente importantes (Vásquez *et al*., 2008; Chaaban; Chermiti; Kreiter, 2012; Ferraz *et al*., 2020; Konwar *et al*., 2023; Castañeda-Cabrera *et al*., 2023).

2.1.1.1 *Oligonychus punicae* Hirst (1926)

O ácaro *O. punicae* é uma espécie nativa do México, conhecida como ácaro marrom do abacate ou ácaro vermelho, é uma espécie polífaga e alimenta-se de 34 espécies vegetais (Heinz-Castro *et al*., 2021; Lara-Vazquéz *et al*., 2023). Foi descrita pela primeira vez em plantas de *Punica granatum* L. (Lythraceae) e *Vitis vinifera* L. (Vitaceae) (Hirst 1926). A primeira descrição feita por Hirst em 1926 definiu a espécie como *Paratetranychus punicae*, mas, posteriormente Pritchard e Baker (1955),

reclassificaram a espécie no gênero *Oligonychus* (Imbachi-López; Estrada-Venegas; Equihua-Martínez, 2017).

Em espécies de *O. punicae*, o dimorfismo sexual é evidente e as fêmeas são maiores que os machos, os machos são triangulares em forma, enquanto as fêmeas são amplamente ovais e possuem o propodosoma e as pernas dianteiras de cor laranja, o opistossoma é arredondado e vermelho escuro com uma marca opaca vermelha longitudinal dorsal (Hoy, 2011; Ferraz *et al*., 2019). *Oligonychus punicae* tem como característica a dispersão por via aérea, esse comportamento é conhecido como balonismo ("ballooning" ou "spinning down"), e consiste no ato dos ácaros se atirarem da planta e ficarem pendurados por um fio de seda ou longos e espessos fios de teia, aguardando uma corrente de vento para serem transportados. Esse fenômeno ocorre geralmente quando o ataque a uma planta é muito intenso (Reis, 2010).

A injúria causada por *O. punicae* nas folhas ocorre por inserção do seu estilete no tecido foliar, sugando o conteúdo celular, e o remanescente celular coagula para formar uma massa necrótica amarelada a marrom (Reyes-Zepeda *et al*., 2022). Essa espécie vive preferencialmente na face adaxial foliar e as lesões iniciais ocorrem na nervura central e na região mediana da folha. Posteriormente, ocupam toda a planta causando descoloração, bronzeamento, seguido de necrose, o que pode resultar em abscisão foliar e morte das plantas (Ferraz *et al*., 2019; Torres *et al*., 2024).

Este ácaro possui ampla distribuição, sendo encontrado em cerca de 20 países, nas regiões da Neotropicais como Brasil, Colômbia, Costa Rica, Cuba, El Salvador, Honduras, México, Nicarágua, Panamá e Venezuela, além da Asia, África e Europa (Queiroz; Flechtmann, 2011; Heinz-Castro *et al*., 2021). No Brasil, *O. punicae* foi registrado inicialmente em *Olyra* sp. e *Eucalyptus* sp. (Myrtaceae) (Flechtmann; Baker 1970; Feres; Lofego; Oliveira, 2005). Outros relatos mencionam *O. punicae* causando danos em *V. vinifera* L. (Mushtaq *et al*., 2023), *Persea americana* (Lauraceae) (Segovia *et al*., 2022) e *Coffea canephora* (Rubiáceas) (Vasconcelos *et al*., 2022) e em diferentes espécies de mudas clonais eucaliptos (Pereira *et al*., 2005; Ferraz *et al*., 2019; Ferraz *et al*., 2020).

2.2 Impactos de ácaros em mudas de eucalipto

No Brasil, o eucalipto é a espécie de maior representatividade no cenário de florestas plantadas. Atualmente, o cultivo comercial de eucalipto é realizado

predominantemente a partir de mudas clonadas, isto ocorre porque a silvicultura clonal oferece vantagens significativas, como maior uniformidade dos talhões no campo e aumento da produtividade florestal. O interesse pela produção de mudas clonais também está relacionado à crescente demanda por subprodutos economicamente relevantes produzidos pela eucaliptocultura (Santarosa *et al*., 2014; Rodrigues; Teixeira; Santiago, 2021; Silva *et al*., 2022). No entanto, a silvicultura do eucalipto pode ser seriamente afetada por problemas fitossanitários, como a infestação de pragas em minijardins clonais destinados à produção de mudas (Mota; Barbosa; Marchioro, 2022).

As mudas de eucalipto servem de habitat para uma diversidade de artrópodes, especialmente acarofauna (Santos *et al*., 2008). Algumas espécies de ácaros tetraniquídeos estão associados às plantas de eucalipto, dentre eles *O. punicae*, *Oligonychus ilicis* McGregor, *Tetranychus urticae* Kock e *Oligonychus yothersi* McGregor (Flechtmann; Baker, 1970; Flechtmann, 1983; Pereira *et al*., 2005). Entre os problemas ocasionados por pragas em minijardins clonais de eucalipto, destacam-se as injúrias provocadas pelo ácaro *O. punicae*, ao ponto que sua primeira ocorrência foi relatada por Ferraz *et al*. (2019) em mudas de *Eucalyptus urophylla* e este ácaro foi levantado como potencial praga desta espécie de eucalipto.

Foi verificado que *O. punicae* permanece e oviposita em *E. urophylla*, causando, em média, 20% de lesões na superfície foliar de mudas de eucalipto (Ferraz *et al*., 2020). Além disso, avaliando a preferência de *O. punicae* em seis espécies de eucalipto, verificou-se que este ácaro pôde sobreviver, reproduzir-se e completar seu desenvolvimento em todas as espécies analisadas, e que o período mais curto de ovo para adultos foi observado em *Eucalyptus tereticornis* Smith (10,92 dias) e *E. grandis* (11,08 dias), e ambos não diferiram de *E. urophylla* (11,19 dias) (Ferraz *et al*., 2020).

Ainda que os estudos que relacionam a ocorrência de ácaros fitófagos na produção de mudas de eucalipto sejam incipientes, sabe-se que as injúrias causadas por ácaros em folhas de eucalipto ocasionam dano histológico, capazes de impactar negativamente a eficiência fotossintética das espécies em plantios suscetíveis (Ferraz *et al*., 2019; Queiroz; Flechtmann, 2021). A ocorrência de ácaros sobre mudas pode ainda desvalorizar as suas características de comercialização, o que torna imperativo a busca por ferramentas de controle de ácaros de modo que reduza os danos significativos causados por esses artrópodes nas mudas (Moraes; Flechtmann, 2008).

2.3 Acaricidas botânicos

O controle de ácaros tem sido realizado principalmente por meio de inseticidas e acaricidas sintéticos, contudo, o uso intensivo desses produtos pode causar impactos nocivos ao meio ambiente e a saúde humana, além de promover resistência e desequilíbrios biológicos e possuírem altos níveis residuais nas plantas (Heinz-Castro *et al*., 2021; Santos *et al*., 2022; Alves *et al*., 2023).

As plantas são uma das formas mais antigas de controle de pragas, resultado de defesas naturais desenvolvidas ao longo de milhões de anos de evolução. Elas produzem uma variedade de compostos químicos que repelem herbívoros e, em altas concentrações, podem ser tóxicos (Anjarwalla *et al*., 2016). A produção das substâncias ocorre através do seu metabolismo secundário, e podem ser usados na forma de extratos, pós e óleos (Silva *et al*., 2012).

A principal vantagem de muitos acaricidas originados de plantas é que eles causam pouco ou nenhum impacto significativo nos ecossistemas agrícolas, apresentando baixa residualidade, menor possibilidade de indução de resistência e com menos efeitos nocivos à saúde humana quando comparados aos dos acaricidas sintetizados quimicamente (Rincón; Rodríguez; Coy-Barrera, 2019; Gaid *et al*., 2024).

Substâncias de origem vegetal exibem um amplo espectro de bioatividade contra artrópodes praga, devido à presença de múltiplos princípios ativos que agem por meio de diferentes mecanismos (Mar *et al*., 2018). Diversos produtos botânicos têm sido estudados por sua atividade acaricida, especialmente extratos e OEs por seus efeitos na mortalidade, inibição da oviposição, viabilidade de ovos e atividade repelente sobre ácaros tetraniquídeos (Farahani; Bandani; Amiri, 2020; Heinz-Castro *et al*., 2021; Segovia *et al*., 2022; Santos *et al*., 2022; Castañeda-Cabrera *et al*., 2023; Gomes *et al*., 2023; Zhu *et al*., 2024).

Compostos bioativos podem ser caracterizados a partir de diferentes partes da planta, como folhas, caule, flor, frutos e sementes. Visto que estão contidos no interior das matrizes vegetais, é necessário métodos de extrações apropriados (Azmir *et al*., 2013; Chuo *et al*., 2020). Os métodos convencionais empregados para a extração de biomoléculas se baseiam na destilação para componentes voláteis ou prensagem a frio (Kapadia *et al*., 2022). A obtenção de extratos se dá com a maceração de folhas ou sementes, onde o material vegetal fica de molho em solvente de extração, coa-se

e coleta o extrato ao final (Rincón; Rodríguez; Coy-Barrera, 2019; Castañeda-Cabrera *et al*., 2023).

A extração de OEs é realizada tradicionalmente por hidrodestilação ou destilação a vapor (Kapadia *et al*., 2022). A hidrodestilação envolve a imersão completa dos materiais vegetais em água, seguida de fervura. Já a destilação a vapor, o material vegetal não entra em contato direto com a água, mas o vapor aplicado é a principal causa de ruptura e quebra da estrutura celular do material vegetal (Tongnuanchan; Benjakul, 2014).

2.3.1 OEs como agentes acaricidas

Considerando os produtos de base botânica propostos para o controle de pragas, os OEs possuem ingredientes ativos promissores para formulações inseticidas devido à sua natureza renovável e disponibilidade mundial, além do baixo custo relativo e à sua suposta segurança para o meio ambiente e saúde humana (Isman, 2020; Palermo *et al*., 2021; Li *et al*., 2022).

Os OEs são misturas complexas de compostos voláteis naturais, biossintetizados por plantas aromáticas a partir dos metabólitos secundários. São caracterizados por possuir aromas intensos e atividades biológicas (Bezerra *et al*., 2017; Shlosman *et al*., 2023). OEs são altamente hidrofóbicos e com solubilidade muito limitada em água, e possuem relevância em áreas farmacêutica, cosmética, agrícola e alimentar graças às suas propriedades bioativas (Lammari *et al*., 2020; Lucia; Guzmán, 2021).

A síntese e acumulação de OEs estão associadas à presença de estruturas anatômicas secretoras como tricomas glandulares, idioblastos, cavidades secretoras e dutos de resina (Pavela; Benelli, 2016; Danna *et al*., 2024). A presença dessas estruturas leva a concentrações mais altas de OE na planta. As famílias botânicas mais estudadas com relação a biossíntese de OE incluem Lamiaceae, Lauraceae, Rutaceae, Myrtaceae, Asteraceae e Apiaceae e entre outras (Rincón; Rodríguez; Coy-Barrera, 2019).

Quimicamente, os OEs são compostos por moléculas orgânicas com baixo peso molecular, com terpenos predominantemente presentes. Os OEs consistem em uma mistura de 2 ou mais de 100 substâncias ativas, sendo que, apesar da diversidade de compostos, sua bioatividade costuma ser determinada por até três

componentes presentes em concentrações relativamente elevadas ou interações sinérgicas (Ebadollahi *et al*., 2017; Devrnja; Milutinović; Savić, 2022).

Os principais constituintes dos OEs incluem uma mistura de hidrocarbonetos terpênicos e terpenoides, o primeiro grupo consiste em monoterpenos e sesquiterpenos, e o segundo grupo consiste em derivados oxigenados de terpenos (Maes; Bouquillon; Fauconnier, 2019; Santos *et al*., 2019). Embora os terpenos apresentem diferenças entre si, sua estrutura segue um padrão de subunidades isoprênicas, que se ligam de maneira específica. Essas subunidades são estruturadas em blocos de cinco carbonos (C5H8) normalmente ligadas entre si pela ordem “cabeça-a-cauda” (Felipe; Bicas, 2017; Forezi *et al*., 2022).

A composição química dos OEs depende de diferentes fatores como a espécie, idade da planta e as condições ambientais de crescimento e sua composição química influencia diretamente no potencial tóxico (Soares *et al*., 2016; Luz *et al*., 2020; Danna *et al*., 2024). A ação dos OEs e seus principais compostos contra ácaros pode se manifestar de diversas formas como induzindo a mortalidade, afetando diferentes estágios de desenvolvimento ou causando repelência (Nerio; Olivero-Verbel; Stashenko, 2010; Mar *et al*., 2018).

2.3.2 Efeitos letais e subletais de OEs

Normalmente, pesquisas sobre os efeitos dos inseticidas em pragas avaliam o efeito letal, com a definição das concentrações letais medianas (CL_{50}), responsáveis por causar morte direta. Além disso, consideram-se os efeitos subletais, que, embora não provoquem mortalidade imediata, resultam em alterações comportamentais e biológicas significativas (França *et al*., 2017). A literatura documenta OE com efeitos como toxicidade aguda ou repelência com base em ensaios que persistem por até 48 horas (Attia, 2013).

No que diz respeito a efeitos letais, acaricidas à base de OE têm se destacado por sua elevada toxicidade aguda contra diferentes espécies de ácaros com mortalidade média de até 81,67% em *Tetranychus urticae*, enquanto em *Panonychus citri* (McGregor), *Oligonychus afrasiaticus* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) e *Oligonychus coffeae* Nietner (Acari: Tetranychidae) as taxas de mortalidade superaram 79% (Borbaruah; Kalita, 2023; Zhu *et al*., 2023; Zhu *et al*., 2024; Gaid *et al*., 2024).

Concentrações subletais de OEs podem resultar em uma redução significativa nas características relacionadas à aptidão das pragas (Cheng *et al*. 2019). Efeitos subletais foram verificados em *T. urticae* quando exposto a concentrações subletais de OEs de *Allium sativum* (Liliaceae) e *Vitex pseudo-negundo* (Hausskn) (Lamiaceae) em que os OEs afetaram os parâmetros reprodutivos (Piramoon *et al*., 2021).

Óleos à base de plantas possuem excelentes propriedades ovicida, mesmo em pequenas quantidades, afetando a eclodibilidade dos ovos sem quaisquer alterações morfológicas, à medida que interrompe ou inibe a embriogênese e torna-os incapazes de sair das cascas dos ovos (Konwar *et al*., 2023). Os efeitos comportamentais tóxicos e subletais observados em artrópodes têm sido frequentemente associados a presença de monoterpenos e sesquiterpenos nos OEs de diferentes plantas. Esses compostos causam a neurotoxicidade ou interação com um ou mais receptores no sistema nervoso dos artrópodes (Isman, 2020).

2.3.3 *Alpinia zerumbet*

Alpinia zerumbet (Pers.) B. L. Burtt. & R. M. Smith é uma planta ornamental comum e possui células oleaginosas distribuídas em todos os seus órgãos, que podem fornecer fontes abundantes de OEs (Jezler *et al*., 2013; Feng *et al*., 2021). Esta espécie também conhecida como gengibre-de-concha, colônia ou jardineira, é uma espécie perene pertencente à família Zingiberaceae (Mendes *et al*., 2015; Nishidono; Tanaka, 2024).

É uma planta originária da Ásia Ocidental e foi introduzida no Brasil, onde se naturalizou desde então, sendo cultivada em todos os estados brasileiros e facilmente encontrada na região nordeste principalmente como planta ornamental, e com uso medicinal. *Alpinia zerumbet* possui folhas longas, verde-escuras, coriáceas e aromáticas, com margens aveludadas e nervuras centrais claras (Chan *et al*., 2023; Nishidono; Tanaka, 2024)

Espécies do gênero *Alpinia* são conhecidas como ervas aromáticas e as folhas são a parte mais comumente usada nos estudos do OE de *A. zerumbet*. No entanto, seus diferentes órgãos apresentam uma ampla variedade de substâncias bioativas, resultando em atividades fisiológicas e farmacológicas, que levaram ao aumento de estudos sobre os OEs derivados desta planta (Van *et al*., 2021; Feng *et al*., 2021; Hou *et al*., 2023; Nishidono; Tanaka, 2024).

Os OEs de *A. zerumbet* são compostos principalmente de monoterpenos oxigenados, seguidos por hidrocarbonetos monoterpênicos e sesquiterpenos oxigenados (Van *et al*., 2021). O OE de *A. zerumbet* já foi verificado quanto suas propriedades com atividade antibacteriana, antimicrobiana, anti-inflamatória, antioxidante e muitas outras, além de ter apresentado atividade acaricida e inseticida com efeitos repelentes (Castro *et al*., 2018; Barbosa *et al*., 2021; Castro *et al*., 2023; Chan *et al*., 2023).

2.3.4 *Bixa orellana*

Membro da família Bixaceae, *Bixa orellana* Linn*,* é uma espécie de grande importância tanto na indústria quanto no uso tradicional. Sua relevância econômica e cultural é amplamente reconhecida, sendo uma planta comercialmente valorizada em diversos países tropicais e subtropicais (Fróes *et al*., 2020; Valarezo *et al*., 2023). Esta espécie é nativa da América Central e do Sul, com origem na Amazônia brasileira e cresce em outros países tropicais (Vilar *et al*., 2014).

Bixa orellana é conhecida como urucum em inglês, achiote em espanhol, yanzhimu em chinês ou urucum em português (Brasil), nomeação que deriva do "Guarani (ru-ku)" e significa vermelho. As sementes desta planta foi o primeiro corante vegetal a ser comercializado em grande escala (Fróes *et al*., 2020; Raju *et al*., 2022). A planta ocorre como arbusto ou pequena árvore, possui altura de 3 a 5 m, mas pode atingir a altura máxima de 10 m, suas folhas são alternadas e verde-escuras com pecíolos estendidos (Raju *et al*., 2022; Kar *et al*., 2022).

A *Bixa orellana* é uma espécie muito versátil, com uma grande variedade de usos e aplicações, sendo rica em compostos químicos e a presença de OEs nas folhas já foi relatada na literatura (Fróes *et al*., 2020; Sales *et al*., 2020; Valarezo *et al*., 2023). Além disso, *B. orellana* foi descrita como a fonte vegetal com a maior concentração de terpenos e a maioria dos compostos voláteis presentes nos diferentes órgãos foram sesquiterpenos, monoterpenos, hidrocarbonetos e cetonas (Everton *et al*., 2020; Hirko; Getu, 2022)

O OE *B. orellana* foi relatado com atividade antimicrobiana, antibacteriana, antioxidante, anticolinesterásica, antipirético, anticancerígenas, analgésicas, anti-inflamatória, antidiabético e repelente de insetos (Sales *et al*., 2020; Raju *et al*., 2022; Valarezo *et al*., 2023). E de fato, muitas das propriedades relatas para o urucum são

atribuídas aos componentes bioativos presentes em seus tecidos vegetais (Vilar *et al*., 2014).

2.3.5 *Mesosphaerum suaveolens*

Mesosphaerum suaveolens (L.) Kuntze é uma planta aromática da família Lamiaceae, é nativa da América tropical e conhecida como bamburral, lavanda-brava, erva-canudo ou alfazema-brava. É uma espécie ruderal, encontrada em ecossistemas naturais em regiões tropicais e subtropicais e está presente em todo o território brasileiro e em países do bioma Amazônico (Castro *et al*., 2018; Lima *et al*., 2020; Lima *et al*., 2022; Bezerra *et al*., 2022).

No Nordeste brasileiro, *M. suaveolens* é amplamente utilizada para fins terapêuticos e medicinais. Trata-se de uma erva perene de crescimento rápido, que pode ser ereta ou subarbustiva, com altura que varia de 0,4 a 2 metros. Possui pelos no caule e folhas ovadas ou obovadas, com margem serrilhada ou cordada, além de um limbo foliar piloso (Tang *et al*., 2019; Bezerra *et al*., 2022; Aguele *et al*., 2023). Esta espécie apresenta um alto potencial biotecnológico, principalmente no que se refere ao seu OE, em que já foi relatada a abundância de monoterpenos oxigenados e predominantemente hidrocarbonetos monoterpênicos (Bezerra *et al*., 2017; Sharma *et al*., 2019; Luz *et al*., 2020; Lima *et al*., 2022)

A literatura evidencia que o OE de *M. suaveolens* possui uma ampla gama de atividades farmacológicas e biológicas. As folhas são utilizadas no tratamento de doenças respiratórias, como asma, bronquite, resfriados e gripes, e doenças relacionadas ao trato gastrointestinal (Alburquerque *et al*., 2007). Além disso, já foi relatado que o OE possui propriedades antioxidante, antibacteriana, antifúngica, herbicida, inseticida, repelente, larvicida e acaricida (Lima *et al*., 2020; Luz *et al*., 2020; Bezerra *et al*., 2020; Bezerra *et al*., 2022; Aglagane *et al*., 2021).

2.3.6 *Syzygium cumini*

Syzygium cumini (L.) Skeels é uma árvore aromática perene pertencente à família Myrtaceae, conhecida no Brasil como jambolão ou jamelão, e também mencionada na literatura como jamun, sinônimo de ameixa preta ou jambolan (Machado *et al*., 2013; Ashmawy *et al*., 2023). É uma espécie originária da Ásia

tropical, Austrália e Ásia, comum em regiões de clima tropical e subtropical, e encontrada na maioria dos estados brasileiros (Hanif *et al*., 2020).

Mesmo que espécies de *Syzygium* não sejam nativas das Américas, elas estão distribuídas por toda a América do Sul em arborização e decoração (Costa *et al*., 2020). São árvores grandes e frondosas, com casca espessa acinzentada e madeira esbranquiçada. As folhas de *S. cumini* são coriáceas, extremamente variáveis em forma, lisas e brilhantes com numerosos nervos unindo-se na margem, possuem comprimento de 6-12 cm, são pontiagudas e orientadas em direção oposta (Chhikara *et al*., 2018; Sarma *et al*., 2020; Naz *et al*., 2023).

Syzygium cumini apresenta alta variabilidade química e diversas atividades biológicas e propriedades terapêuticas em seus OEs, sendo rica em constituintes fitoquímicos e com folhas que contém diversos terpenoides (Costa *et al*., 2020; Sarma *et al*., 2020). O OE de *S. cumini* obtido de folhas é composto principalmente por monoterpenos e sesquiterpenos, sendo geralmente composto por maiores quantidades de monoterpernos (Siane *et al*., 2013; Hanif *et al*., 2020).

As folhas possuem OE com odor agradável, e propriedades antimicobacteriana, anti-inflamatória e antioxidante já foram relatadas para o OE de *S. cumini* (Mohamed; Ali; El-Baz, 2013; Hanif *et al*., 2020; Naz *et al*., 2023). Tradicionalmente, diferentes partes de *S. cumini* têm sido empregadas para o tratamento de várias doenças como indigestão, disenteria, dor de estômago e diabetes (Ashmawy *et al*., 2023). Desse modo, as diferentes propriedades de produtos de origem botânica têm sido consideradas na busca por ferramentas no manejo de pragas.

3 METODOLOGIA

3.1 Local de estudo

A criação dos ácaros foi feita no Laboratório de Entomologia, localizado no Departamento de Fitotecnia, setor de Fitossanidade do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí - UFPI, *Campus* Universitário Ministro Petrônio Portella em Teresina-PI. A realização dos bioensaios foram conduzidos no Laboratório de Entomologia da UFPI e no Laboratório Multidisciplinar do Instituto Federal do Maranhão – IFMA *Campus* Codó. As condições experimentais em câmara climática tipo BOD durante os bioensaios foram em temperatura de 25±1°C, umidade relativa do ar de 70±10% e fotofase de 12h.

3.2 Coleta das plantas para extração dos OEs e identificação do material botânico

Foram coletadas as plantas *B. orellana* (urucum), *A. zerumbet* (jardineira), *M. suaveolens* (bamburral) e *S. cumini* (azeitona roxa), todas reconhecidamente com propriedades químicas com potencial para possibilitar atividade acaricida. As coletas ocorreram na comunidade remanescente do quilombo Jenipapo (5° 11′ 30.2″ S, 43° 19′ 54.5″ W), distante cerca de 50 km do município de Caxias - MA.

A identificação foi realizada com o auxílio de literatura especializada, e a coleção foi depositada no Herbário Aluízio Bittencourt da Universidade Estatual do Maranhão – UEMA, *Campus* Caxias. As espécies foram organizadas seguindo a proposta do Angiosperm Phylogeny Group - APGIV, além disso, seu status de nativa ou exótica, seguiu o site da Flora do Brasil. Como a extração dos OEs envolveu o acesso ao patrimônio genético brasileiro, o presente estudo foi registrado no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen).

3.3 Caracterização química dos OEs

A extração dos OEs foi realizada no Laboratório Multidisciplinar do Instituto Federal do Maranhão – IFMA *Campus* Codó. Para a extração dos OEs, folhas frescas das espécies vegetais *A. zerumbet* (2365,6 g), *B. orellana* (1763,3 g), *M. suaveolens* (1181 g) e *S. cumini* (1898 g) foram colocadas separadamente em balões volumétricos com água destilada e submetidas a hidrodestilação em aparelho tipo Clevenger modificado. O material vegetal permaneceu no sistema por cerca de 3 horas, ao final do processo, o OE foi coletado e tratado com sulfato de sódio anidro para remover a água remanescente (Guerrini *et al*., 2023). Os OEs extraídos foram armazenados em frascos âmbar selados a 4 °C para uso posterior nos experimentos. O rendimento de OE foi expresso em % do volume/peso (v/p), sendo a relação entre o volume de óleo extraído e o peso do material vegetal fresco (Begna *et al*., 2023).

As análises químicas dos OEs obtidos foram realizadas na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos - SP, Departamento de Genética e Evolução, Laboratório de Bioquímica Micromolecular de Microorganismos (LaBioMMi). Os OEs foram analisados através da cromatografia a gás por meio da

utilização de um cromatógrafo gasoso modelo Shimadzu QP2010 Plus. Foi utilizado uma coluna capilar Rxi-5ms (10 m x 0,10 mm x 0,10 µm). O injetor operou em modo splitless com temperatura constante de 250 ºC. O forno foi programado para uma temperatura inicial de 40 ºC durante 1 minuto, de 40 a 320 ºC variando 35 ºC/min e mantendo a temperatura em 320 ºC durante 1 minuto. O gás de arraste utilizado foi hélio cujo fluxo constante de análise foi de 0,45 ml/min.

Para espectrometria de massas, o detector de massas operou nas seguintes condições: energia de ionização (70 eV), temperatura de interface igual a 250 ºC e temperatura da fonte de íons em 200 ºC. Os dados quantitativos foram obtidos das percentagens das áreas dos picos em seus cromatogramas fazendo uso do método de normalização de área. Os valores de índices de retenção linear obtidos foram comparados com valores da literatura para fases estacionárias de polaridades equivalente a utilizada nesse trabalho, de modo a ajudar na identificação e caracterização destes compostos.

3.4 Criação de *O. punicae*

Os exemplares de *O. punicae* utilizados no presente estudo foram coletados no minijardim clonal de *Eucalyptus* spp. na cidade de Monsenhor Gil, estado do Piauí, nordeste do Brasil (5°34'50,9"S, 42°37'20,8"W), entre maio e julho de 2017, e posteriormente identificados por Ferraz *et al*. (2019).

Para o estabelecimento da criação estoque, foram utilizadas folhas de mudas de eucalipto (*E. grandis*). As mudas foram mantidas em vasos com capacidade de 5 L, contendo solo, substrato comercial e esterco caprino em uma proporção de 3:1:1, mantidos em casa de vegetação. As folhas com lado adaxial para cima, foram substituídas conforme seu grau de deterioração. E a transferência dos ácaros para novas folhas ocorreu com o auxílio de um pincel n° 000, e as folhas antigas da criação foram sobrepostas às novas, permitindo que os ácaros migrassem naturalmente de uma folha para outra.

As arenas da criação estoque de *O. punicae* consistiram em recipientes retangulares de 10x15x4 cm, forrados com espuma de 3 cm de espessura saturada em água, sobre a qual foi colocado papel filtro e, em seguida, as folhas para serem infestadas. A criação do ácaro em laboratório se deu por meio da infestação de folhas com ovos, larvas, ninfas e adultos do ácaro. As margens das folhas foram cobertas

com uma camada de algodão hidrófilo permanentemente umedecido com água destilada para evitar a fuga dos ácaros.

3.5 Toxicidade dos OEs sobre fêmeas adultas de *O. punicae*

Antes de iniciar os testes definitivos, foram realizados bioensaios preliminares para determinar as concentrações letais e subletais dos OEs a serem utilizadas. Esses bioensaios preliminares consistem em estimar as concentrações determinando os limites de mortalidade, tendo um limite inferior (concentração que causa a morte de cerca de 10% dos ácaros) e um superior (concentração que causa a morte de cerca de 90% de ácaros) (Lopes *et al*., 2023). Para o teste preliminar, foram utilizadas sete concentrações de cada óleo (8, 4, 2, 1, 0,5, 0,25, 0,148 µl/mL), diluídas sequencialmente em uma mistura de água destilada + DMSO (2%), a fim de verificar a faixa de diluição em que os óleos causam efeitos mensuráveis de mortalidade nos ácaros. Além disso, uma solução controle foi feita usando apenas água destilada + DMSO (2%).

O bioensaio foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, onde foram realizadas 10 repetições por concentração, de modo que cada repetição consistiu em uma placa de Petri contendo 10 fêmeas adultas de *O. punicae,* sendo 100 ácaros por concentração. Esses experimentos foram replicados 3 vezes, ou seja, feitos em triplicatas para cada óleo, no intuito de retirar o efeito do tempo e o erro de diluição. Ao todo, para buscar a determinação das concentrações letais 2.400 ácaros foram utilizados para cada OE.

O bioensaio foi conduzido por meio do método residual descrito por Santana *et al*. (2020). Neste método discos foliares de eucalipto com 3 cm de diâmetros foram imersos nas soluções dos OEs. Após imersão dos discos foliares nas soluções por cerca de 10 segundos, os discos foram dispostos para secagem por 30 minutos em temperatura ambiente e por fim infestados com 10 fêmeas adultas com cerca de 4-5 dias de idade. Após secagem, os discos foram dispostos sobre papel de filtro, sobrepostos numa esponja embebida em água, no interior de placas de Petri plásticas (90x15mm).

O número de ácaros mortos foi avaliado após 48h de infestação, a mortalidade foi definida como a incapacidade do ácaro, submetido aos tratamentos, de se mover após ser estimulado com um pincel n° 000. A avaliação foi realizada visualmente, com

o auxílio de um estereomicroscópio. Com base nos resultados obtidos nos testes preliminares de mortalidade, foram estabelecidas entre 5 e 6 concentrações experimentais que se ajustaram ao modelo Probit (Tabela 1).

Tabela 1 Concentrações experimentais determinadas com base nos testes preliminares de mortalidade ajustadas ao modelo Probit.

Plantas	Concentrações (µl/mL)
A. zerumbet	3,6; 2,8; 2; 1,2; 1
B. orellana	3,4; 2,8; 2,2; 1; 0,4
M. suaveolens	10; 5; 2,5; 1,25; 0,62
S. cumini	5,2; 4,4; 2,8; 2; 1,2; 0,4

Após o teste preliminar, verificou-se a toxicidade dos OEs a partir das concentrações letais ajustadas ao modelo probit e seguiu o mesmo método de execução sugerido por Santana *et al*. (2020). As regressões concentração-mortalidade para adultos foram estimadas por meio da análise Probit do programa SAS version 8.02 (SAS Institute, 2001), para definir concentrações letais (CL_{50} e CL_{90}) e subletais (CL_{20} e CL_{30}) dos óleos essenciais. As Razões de Toxicidade (RT) que indicam quão mais ou menos tóxica uma substância é em relação a outra, foram estimadas através do quociente entre a CL_{50} e/ou CL_{90} do óleo de menor toxicidade e as CL_{50} e/ou CL_{90} do óleo de maior toxicidade.

3.6 Efeito ovicida

Para verificar o efeito dos OEs na eclodibilidade dos ovos, discos foliares de eucalipto com 3 cm de diâmetro foram infestados com 10 fêmeas adultas (4-5 dias de idade), as quais foram mantidas por 24h para efetuarem a oviposição. Após este período, foram selecionados 20 ovos em cada disco para serem imersos nas soluções contendo concentrações CL_{50} e CL_{90} de cada OE, bem como na solução controle.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado e cada tratamento contou com 20 repetições (cada repetição corresponde a uma placa de Petri com 20 ovos). A viabilidade dos ovos foi avaliada aos 5 dias a partir da oviposição, onde foi registrado o número de larvas eclodidas. Para o efeito na viabilidade de ovos, os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($P<0,05$) através do programa SAS.

3.7 Taxa instantânea de crescimento populacional (r_i)

Para verificar a taxa instantânea de crescimento populacional (r_i) utilizou-se as concentrações CL_{20} e CL_{30} determinadas nos testes de mortalidade e a solução controle. Para este teste foram utilizadas arenas em placas de Petri, contendo discos confeccionados com folhas de eucalipto com a face adaxial voltada para cima e circundado com algodão hidrófilo. Após imersão dos discos, secagem e montagem das arenas, cada uma recebeu 10 fêmeas adultas do ácaro, esse teste contou com 20 repetições (cada repetição corresponde a uma placa de Petri com 10 fêmeas) para cada tratamento e foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado. Aos 10 dias foram contabilizados os números de ovos, imaturos e adultos e os dados foram submetidos a equação sugerida por Walthall e Stark (1997):

$$r_i = \frac{\left[In\left(\frac{Nf}{N0}\right)\right]}{\Delta t}$$

Onde:

r_i: taxa instantânea de crescimento populacional

In: Logaritmo natural (base e)

Nf: Número final de ácaros

N0: Número inicial de ácaros

Δt = Número de dias em que o ensaio foi executado.

Para analisar a r_i os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($P<0,05$) através do programa SAS.

3.8 Atividade repelente

As propriedades repelentes foram verificadas a partir das concentrações subletais CL_{20} e CL_{30}. Para isso foram confeccionadas arenas em placas de Petri plásticas (90x15 mm) contendo espuma com 1 cm de espessura umedecida e recoberta com papel filtro. No centro de cada placa foi colocada uma lamínula de 22x22 mm, a fim de interligar dois discos de folha de eucalipto, sendo um tratado com a solução do OE e outro com a solução controle. Após imersão dos discos, secagem e montagem das arenas foram liberadas 10 fêmeas adultas (4-5 idade) na lamínula

central. O número de fêmeas em cada disco foi avaliado as 48h após a infestação. Foi calculado também o índice de repelência (IR) através da fórmula:

$$IR = \frac{2G}{(G+P)}$$

Onde:
IR: índice de repelência

G: número de ácaros atraídos no tratamento

P: número de ácaros atraídos no controle

O intervalo de segurança utilizado para considerar se o tratamento é ou não repelente foi obtido, usando a média dos IR e o respectivo desvio padrão (DP), ou seja, se a média dos IR foi menor que o valor de 1-DP, o óleo é repelente; se foi maior que o valor de 1+DP o óleo é atraente e se foi um valor entre 1-DP e 1+DP o óleo é considerado neutro (Matos *et al*., 2020).

Cada tratamento foi testado em delineamento inteiramente casualizado, com 20 repetições, cada repetição corresponde a uma placa de Petri que foi infestada com 10 fêmeas adultas. Para os testes de repelência, o número de ácaros observados em cada disco foi comparado pelo teste de Qui-quadrado através do PROC FREQ do programa computacional SAS.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização química dos OEs

Os rendimentos percentuais foram de 0,24%, 0,32%, 0,11% e 0,09% para *A. zerumbet*, *B. orellana*, *M. suaveolens* e *S. cumini*, respectivamente. As folhas de *B. orellana* proporcionaram um maior rendimento entre os OEs avaliados. O rendimento do óleo de *A. zerumbet* (0,24%) tem sido relatado numa faixa de 0,13% a 2,29% (Feng *et al*., 2021; Gomes *et al*., 2023). Para o óleo de *B. orellana* (0,34%) encontra-se rendimentos que vão de 0,13% a 2,23% (Froés *et al*., 2020; Valarezo *et al*., 2023). O OE de *M. suaveolens* (0,11%) apresentou rendimentos que variaram de 0,33 a 2,4% (Azevedo *et al*., 2002; Luz *et al*., 2020). E por fim, o óleo de *S. cumini* (0,09%) é encontrado na literatura com rendimentos que vão de 0,03% a 1,57% (Hanif *et al*., 2020; Naz *et al*., 2023).

Embora os resultados de rendimentos dos OEs tenham apresentado variações com aqueles encontrados na literatura, o rendimento dos OEs é influenciado por diversos fatores, que incluem o método de extração, bem como as partes das plantas utilizadas. O rendimento é um fator importante, uma vez que o potencial de aplicação dos OEs deve ser avaliado através da eficiência quantitativa e qualitativa. Valarezo *et al*. (2023) mencionam bioeconomia e a biodiversidade como limitações de produção, dito isso, são necessárias estratégias para superar as limitações, como a escolha das plantas e o avanço nos métodos de extração.

No que se refere à composição dos OEs, parte significativa é constituída de hidrocarbonetos terpênicos (Tabela 2). A predominância desses compostos químicos é fundamental para que estes OEs desempenhem suas propriedades biológicas.

Tabela 2 Porcentagem (%) média das principais classes químicas de compostos terpênicos presentes nos OEs de *A. zerumbet*, *B. orellana*, *M. suaveolens* e *S. cumini*

Classes químicas	***A. zerumbet***	***B. orellana***	***M. suaveolens***	***S. cumini***
Hidrocarbonetos Monoterpênicos	25,0	25,0	16,7	30,0
Monoterpenos oxigenados	37,5	-	25,0	35,0
Hidrocarbonetos Sesquiterpênicos	-	60,7	16,7	10,0
Sesquiterpenos oxigenados	31,3	3,6	33,3	20,0
Outros (alcanos, éster, cetona)	6,2	10,7	8,3	5,0

Os OEs apresentam predominância de monoterpernos e sesquiterpenos oxigenados, com exceção de *B. orellana* (Tabela 2). Esses compostos químicos podem desempenhar papel significativo na atividade repelente dos OEs, conforme demonstrado por Nerio, Olivero-Verbel e Stashenko (2010), em que atribuíram essa propriedade à alta concentração de compostos oxigenados. A característica do OE de *B. orellana* é o conteúdo caracterizado predominantemente por hidrocarbonetos sesquiterpênicos (60,7%) (Tabela 2). Os efeitos comportamentais tóxicos e subletais observados em e artrópodes são atribuídos a sesquiterpenos de OEs de plantas. Essa atividade ocorre como uma consequência da neurotoxicidade ou interação desses compostos com um ou mais receptores no sistema nervoso dos artrópodes (Isman, 2020).

Com base na identificação química obtida por CG-EM, a Tabela 3 apresenta as informações sobre a composição química dos OEs.

Tabela 3 Composição química dos OEs de *A. zerumbet*, *B. orellana*, *M. suaveolens* e *S. cumini*

A. zerumbet

N°	Componente [a]	IRL^{L}	IRL^{C}	%
1	α -tujeno	926	889	1,68
2	α -pineno	933	896	1,52
3	**Sabineno**	973	940	**12,62**
4	**p -cimeno**	1023	995	**6,87**
5	**1,8-Cineol**	1032	1002	**14,05**
6	Terpin-3-en-1-ol	1120	1110	1,32
7	*p*-Ment-8-en-1-ol	1147	1170	1,65
8	Cetona de Sabina	1147	1126	1,4
9	Hexanoato de vinila	-	1043	2,96
10	**terpinen-4-ol**	1173	1144	**6,03**
11	Ascaridol	1257	1185	1,87
12	Nerolidol	1535	1465	0,74
13	Elemol	1542	1457	0,83
14	Óxido de cariofileno	1582	1498	2,71
15	γ-eudesmol	1630	1545	1,1
16	β -eudesmol	1649	1567	4,5
	TOTAL			**61,85**

S. cumini

N°	Componente [a]	IRL^{L}	IRL^{C}	%
1	**α -pineno**	933	897	**36,22**
2	**β -pineno**	975	944	**16,09**
3	β -mirceno	986	959	0,97
4	Limoneno	1020	999	3,12
5	β -ocimeno	1028	1007	3,67
6	α -ocimeno	1042	1018	0,94
7	Epóxido α -pineno	1085	1048	0,57
8	Fenchol	1110	1085	0,92
9	Óxido de limoneno	1120	1079	1,05
10	Pinocarveol	1134	1110	0,93
11	cis-verbenol	1136	1115	0,9
12	Terpinen-4-ol	1173	1145	0,5
13	α -terpineol	1191	1156	3,16
14	Acetato de bornila	1286	1237	1,14
15	Isocariofileno	1402	1349	4,07
16	α -cariofileno	1448	1374	2,21
17	Elemol	1542	1457	0,58
18	1,2 epóxidohumuleno	1577	1526	3,06
19	**óxido de cariofileno**	1582	1499	**8,23**
20	β -eudesmol	1649	1567	2,91
	TOTAL			**94,91**

B. orellana

N°	Componente [a]	IRL^{L}	IRL^{C}	%
1	Tricicleno	921	921	0,60
2	α -pineno	933	926	0,80
3	Sabineno	973	963	0,49
4	β -pineno	975	966	0,58
5	(Z)-β-Ocimeno	1032	1038	0,37
6	(E)-β-Ocimeno	1044	1039	0,54
7	Undecano	1100	1090	0,23
8	Dodecano	1200	1190	0,17
9	Tridecane	1300	1290	0,10
10	δ-elemene	1335	1327	0,13
11	α-copaene	1374	1365	0,26
12	β - elemene	1389	1382	0,20
13	**β -cariofileno**	1417	1410	**9,17**
14	α -bergamoteno	1432	1425	0,15
15	Aromadendreno	1439	1427	0,11
16	α -cariofileno	1448	1442	0,38
17	β -farneseno	1454	1446	1,00
18	Ishwarane	1465	1452	3,79
19	γ-Muurolene	1478	1469	1,22
20	Ar-Curcumena	1479	1471	0,11
21	Valenceno	1496	1481	0,35
22	Biciclogermacreno	1500	1485	4,30
23	**β-bisaboleno**	1505	1500	**47,57**
24	(Z)- α - Bisabolene	1506	1492	0,39
25	**β -Sesquifelandreno**	1521	1513	**8,82**
26	(Z)- γ- bisaboleno	1529	1520	0,28
27	**(Z)-Nerolidol**	1561	1554	**6,12**
28	α -Muurolol	1644	1630	0,19
	TOTAL			**88,42**

M. suaveolens

N°	Componente [a]	IRL^{L}	IRL^{C}	%
1	α -pineno	933	896	1,91
2	**Sabineno**	977	941	**15,78**
3	**1,8-Cineol**	1032	1002	**11,01**
4	Fenchona	1086	1060	2,27
5	Fenchol	1110	1085	1,93
6	Terpinen-4-ol	1173	1145	0,96
7	**β -bourboneno**	1384	1321	**11,13**
8	Cariofileno	1460	1348	0,32
9	Elemol	1542	1457	1,22
10	**Espatulenol**	1548	1492	**12,28**
11	Viridiflorol	1589	1508	0,63
12	**β -eudesmol**	1649	1568	**8,52**
	TOTAL			**67,96**

[a] Os compostos são listados em ordem crescente dos Índices de Retenção de Kratz da Literatura.
IRL^{L}: Índice de Retenção de Linear da Literatura;
IRL^{C}: Índice de Retenção de Linear Calculado;
%: Concentração dos compostos em porcentagem

A análise por CG-EM identificou 16 compostos no OE de *A. zerumbet*, que totalizou 61,85% da composição (Tabela 3). Os componentes majoritários (>5%) identificados neste óleo foram os monoterpenos 1,8-cineol (14,05%), sabineno (12,62%), p-cimeno (6,87%) e terpinen-4-ol (6,03%). Entre esses compostos,

Nishidono e Tanaka (2024), em sua revisão sobre os fitoquímicos presentes nos OEs dessa planta, observaram que a maioria dos OEs extraídos das folhas é predominantemente composto por 1,8-cineol e terpinen-4-ol. A presença desses monoterpenos é fundamental para que esse OE desempenhe atividade acaricida sobre *O. punicae*, uma vez que Abdelgaleil *et al*., (2019) e Fang *et al*., (2020) já demonstraram os efeitos desses compostos sobre ácaros. O 1,8-cineol é um composto altamente ativo com diversas propriedades, incluindo mortalidade e repelência. Sua ação está relacionada principalmente à inibição de enzimas essenciais à sobrevivência de artrópodes, comprometendo processos biológicos críticos.

O OE de *B. orellana*, é composto por 28 constituintes químicos, que juntos correspondem a 88,42% da composição total (Tabela 3). Neste óleo, os principais compostos foram os sesquiterpenos β-bisaboleno (47,57%), β-cariofileno (9,17%), β-Sesquifelandreno (8,82%) e (Z)-Nerolidol (6,12%) (Tabela 3). Desses compostos, Froés *et al*. (2020) verificaram os componentes β-bisaboleno (19,71%) e β-cariofileno (10,42%) para este OE, sendo o β-bisaboleno encontrado em um teor superior no presente estudo e o β-cariofileno demonstrou maior similaridade em termos de abundância. Não existem pesquisas abordando o efeito isolado de β-bisaboleno sobre artrópodes, mas propriedades citotóxicas já foram verificadas sobre células cancerígenas (Rodrigues *et al*., 2015; Yeo *et al*., 2016), o que sugere que esse composto pode interferir em processos biológicos essenciais. O β-cariofileno já demonstrou papel importante na atividade acaricida de OEs (Araújo *et al*., 2012; Born *et al*., 2022), o que indica que a presença desse sesquiterpeno também pode ser um fator determinante na eficácia desse OE sobre ácaros.

Com relação ao óleo de *M. suaveolens*, foram identificados 12 compostos que representaram 67,96% do total. Os compostos majoritários obtidos para este óleo foi o sabineno (15,78%), espatulenol (12,28%), β -bourboneno (11,13%), 1,8-cineol (11,01%) e β-eudesmol (8,52%) (Tabela 3). A literatura indica a consistência de alguns dos componentes majoritários para esse OE, a exemplo do sabineno, espatulenol e 1,8-cineol (Castro *et al*., 2018; Lima *et al*., 2020; Bezerra *et al*., 2020; Luz *et al*., 2020). A presença desses compostos em OEs têm apresentado potencial como pesticidas naturais devido a propriedades fitotóxicas, antimicrobianas e inseticidas sobre diversos organismos (Zhou *et al*., 2019; Born *et al*., 2022)

No que diz respeito ao OE de *S. cumini*, 20 compostos foram identificados e esses representaram 94,91% do total (Tabela 3). Este óleo foi caracterizado principalmente por α -pineno (36,22%), β -pineno (16,09%) e óxido de cariofileno (8,23%) como compostos majoritários (>5%). O α -pineno e β -pineno tem sido consistentemente caracterizados em OE oriundos dessa espécie (Sarma *et al*., 2020; El-Nashar *et al*., 2021; Naz *et al*., 2023; Ashmawy *et al*., 2023) e esses compostos já demonstraram bioatividade significativa contra artrópodes pragas, apresentando propriedades como toxicidade, repelência e inibição da oviposição e reprodução (Haselton *et al*., 2015; Chaubey, 2022; Feng *et al*., 2022), além de outras propriedades que reforçam o potencial dos monoterpenos presentes em OE de apresentar efeitos acaricidas.

De modo geral, os OEs obtido das folhas de *A. zerumbet*, *B. orellana*, *M. suaveolens* e *S. cumini* já foram caracterizados quimicamente em diversos estudos, e assim como no presente estudo, foi encontrada alta variabilidade na composição e no teor dos constituintes majoritários. Esses resultados refletem a influência de uma combinação de muitos fatores intrínsecos e/ou extrínsecos como origem geográfica, horário de coleta, método de extração, espécie e condições ambientais (Luz *et al*. 2020; Aglagane *et al*. 2021; Danna *et al*., 2024). O presente estudo evidencia essa tendência, ao se verificar as variações nos compostos majoritários e suas abundâncias relativas em comparação com o observado na literatura.

A caracterização química de OEs é indispensável para compreender sua bioatividade, pois a eficácia desses compostos não depende apenas de um constituinte, mas de interações entre diversos componentes. Attia *et al*. (2013) destacam que a atividade acaricida de óleos derivados de plantas está frequentemente associada à presença de múltiplos compostos químicos, cada um contribuindo com diferentes modos de ação. Essa complexidade química possibilita que os OEs atuem de maneira mais ampla e eficaz, dificultando a adaptação de pragas e ampliando seu espectro de ação.

Além disso, caracterizar quimicamente os OEs é essencial não apenas para identificar os compostos ativos, mas também para otimizar seu uso. Spochacz *et al*. (2018) enfatizam que a investigação detalhada da composição dos OEs é o ponto de partida para o desenvolvimento de produtos aprimorados, com maior eficiência e segurança no controle de pragas. Essa abordagem permite a formulação de alternativas sustentáveis que podem ser aplicadas em práticas agrícolas e industriais,

reduzindo a dependência de produtos químicos sintéticos e seus impactos negativos ao meio ambiente.

4.2 Toxicidade dos OEs sobre fêmeas adultas de *O. punicae*

Considerando a CL_{50}, o óleo de *B. orellana* foi o mais tóxico para fêmeas adultas de *O. punicae* (CL_{50} = 0,55 µl/mL) (Tabela 4), exigindo a menor concentração para causar a mesma mortalidade dos demais OEs. A toxicidade de *B. orellana* difere significativamente do segundo óleo mais tóxico, *A. zerumbet* (CL_{50} = 1,96 µl/mL), como evidenciado pela ausência de sobreposição nos intervalos de confiança entre ambos. O OE de *B. orellana* demonstrou ser 5,9 vezes mais tóxico do que o de menor toxicidade, *S. cumini* (CL_{50} = 1,96 µl/mL), considerando a razão de toxicidade (Tabela 4).

Tabela 4 Toxicidade dos OEs de *A. zerumbet*, *B. orellana*, *M. suaveolens* e *S. cumini* sobre fêmeas adultas de *O. punicae*

Óleo essencial	GL	N	Inclinação ±EPM	CL_{50}* (IC95%)	RT_{50}	CL_{90}* (IC95%)	RT_{90}	χ^2	*P*
A. zerumbet	3	1500	3,96±0,27	1,96 (1,77-2,17)	1,6	4,13 (3,50-5,26)	5,6	6,62	0,08
B. orellana	3	1500	1,93±0,17	0,55 (0,36-0,72)	5,9	2,53 (1,94-3,79)	9,1	7,19	0,06
M. suaveolens	3	1500	2,41±0,16	2,35 (1,95-2,83)	1,4	8,00 (6,09-11,84)	2,8	7,33	0,06
S. cumini	4	1800	1,51±0,09	3,29 (2,98-3,67)	-	23,14 (17,66-32,62)	-	5,38	0,24

* µl/mL, GL: Grau de liberdade, N: Número de ácaros usados no teste, EPM: Erro padrão da média, IC: Intervalo de confiança, RT: Razão de Toxicidade, χ2: Qui-quadrado, P: Valor de probabilidade para o modelo de Probit.

Embora alguns compostos sejam comuns entre os diferentes OEs, sua toxicidade pode resultar tanto de efeito individual de cada componente quanto das proporções e possíveis interações entre os compostos que compõem o OE. Assim, o OE de *B. orellana* apresentou uma alta concentração do sesquiterpeno β-bisaboleno (47,57%), e esse pode ter contribuído para a atividade tóxica observada contra fêmeas adultas de *O. punicae*. No entanto, não existem trabalhos que evidenciem o papel desse composto, enquanto majoritário, em OE com efeitos acaricida, o que leva a necessidade de pesquisas afim de explorar completamente os efeitos acaricidas do β-bisaboleno.

As concentrações dos OEs na CL_{90} variaram consideravelmente, indo de 2,53 a 23,14 µl/mL (Tabela 4). O OE de *B. orellana* apresentou a menor concentração necessária para atingir 90% de mortalidade (2,53 µL/m), seguido de *A. zerumbet* (4,13 µl/mL), *M. suaveolens* (8,00 µl/mL) e *S. cumini* (23,14 µl/mL). É possível observar a sobreposição dos intervalos de confiança entre *B. orellana* e *A. zerumbet*, o que indica que estatisticamente, não há diferença significativa entre esses dois óleos em termos de toxicidade na CL_{90}.

Os valores de χ^2 foram baixos em todos os tratamentos (<8,00), o que sugere que a reta é adequada para descrever a relação concentração-mortalidade. A inclinação da reta apresentou valores que variaram de 1,51 a 3,96 (Tabela 4). Valores mais elevados indicam que pequenas variações na concentração dos OEs resultam em aumentos expressivos na mortalidade. Assim, *A. zerumbet* pode apresentar maior incremento de mortalidade proporcionado com um pequeno aumento da concentração.

O óleo de *A. zerumbet* é predominantemente constituído por monoterpenos oxigenados (Tabela 2), como o 1,8-cineol, também conhecido como eucaliptol, como seu composto majoritário (Tabela 3). Esse composto provavelmente contribuiu para a toxicidade deste OE. Miresmailli, Bradbury e Isman (2006) descobriram que 1,8-cineol têm uma contribuição significativa na toxicidade do OE de *R. officinalis* L. contra *T. urticae*, e a falta de 1,8-cineol causou uma diminuição significativa na toxicidade. Além disso, trabalhos com OE com 1,8-cineol como composto principal demonstraram eficiência acaricida contra *Varroa destructor* Anderson e Trueman (Acari: Varroidae) (Atmani-Merabet *et al*., 2018; Aglagane *et al*., 2021), sendo um composto ativo em OEs com relação à toxicidade.

Os artrópodes podem reagir à exposição a OEs a partir de mecanismos adaptativos que envolvem a ativação de sistemas enzimáticos desintoxicantes e antioxidantes como carboxilesterase, glutationa s-transferase, acetilcolinesterase, citocromo P450, catalase e peroxidase (Wu; Hoy, 2016; Hernandez *et al*., 2022). Na pesquisa feita por Ahmed e Abdelwines (2024), eles demonstraram que fêmeas adultas de *Oligonychus mangiferus* Rahman & Sapra, expostas por 48h a CL_{50} dos OEs de capim-limão (*C. citratus*) e hortelã-pimenta (*Mentha x piperita* L.), apresentaram alterações significativas em seu sistema antioxidante, com aumento de algumas enzimas e inibição de outras, o que comprometeu a capacidade da praga de se proteger contra toxinas. No presente estudo, a toxicidade dos OEs sobre *O.*

punicae, estar associada a um mecanismo semelhante, em que os OEs desestabilizam o equilíbrio metabólico dos ácaros. Essa interferência nos sistemas enzimáticos provavelmente compromete a defesa da praga, aumentando sua vulnerabilidade e potencializando a eficácia dos OEs como agentes acaricidas.

A eficácia dos OEs enquanto acaricidas é atribuída diretamente à sua composição química. Os resultados referentes a toxicidade dos OEs sobre fêmeas adultas de *O. punicae* revelam que diferentes OEs apresentam distintos graus de toxicidade. O óleo de *B. orellana* destacou-se como o mais tóxico na CL_{50}, enquanto o mesmo óleo e *A. zerumbet* foram os mais eficazes na CL_{90}. Essa toxicidade pode estar relacionada a presença de compostos monoterpenóides e sesquiterpenos que agem causando mortalidade e ações neurológicas, principalmente inibindo a atividade da enzima acetilcolinesterase possivelmente pela ativação dos receptores octopaminérgicos (Konwar *et al*., 2023). A interação com esses receptores é relevante para causar toxicidade ou interferência comportamental em ácaros.

4.3 Efeito ovicida

A exposição dos ovos à CL_{50} dos OEs resultou na redução significativa da viabilidade dos ovos em comparação com o controle, exceto para *M. suaveolens* (Figura 1A). As porcentagens médias de ovos viáveis foram de 46,50%, 61,50%, 64,25%, 90,50% para o OE de *B. orellana, A. zerumbet*, *S. cumini e M. suaveolens*, respectivamente.

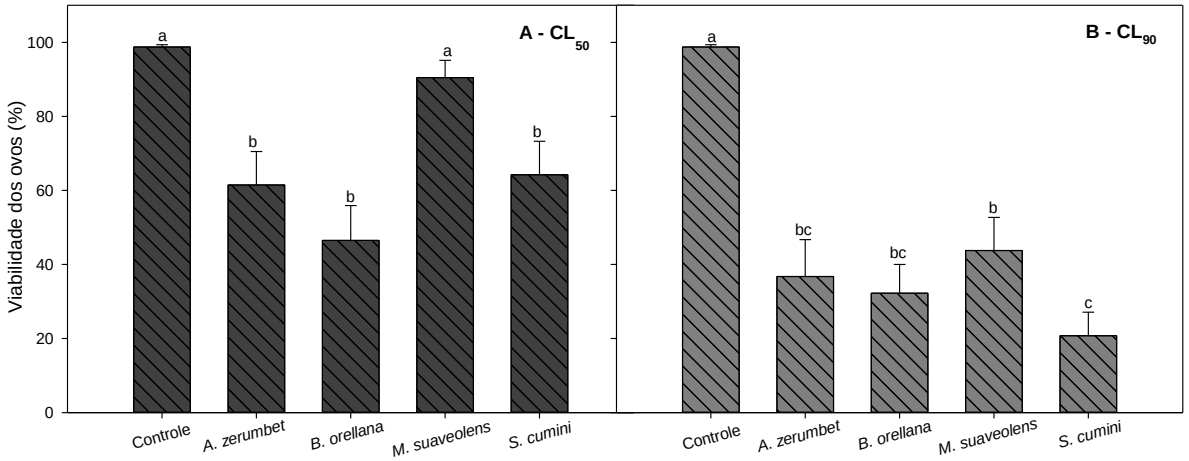

Figura 1 Viabilidade dos ovos de *O. punicae* expostos a LC_{50} (F = 8,58, p < 0,0001) (A) e LC_{90} (F = 16,48, p < 0,0001) (B) dos OEs de *A. zerumbet*, *B. orellana*, *M. suaveolens* e *S. cumini* em um período de 10 dias. Os dados são

apresentados como média ± EP. Letras diferentes indicam diferença significativa entre os tratamentos, conforme determinado pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

A taxa de viabilidade dos ovos diminuiu significativamente em superfícies foliares tratadas com a CL_{90} dos OEs (Figura 1B), resultando em uma taxa de eclosão significativamente menor em comparação com os ovos não expostos aos OEs. As porcentagens médias da viabilidade de ovos foram de 20,75%, 32,25%, 36,75% e 43,75% para S*. cumini*, *B. orellana*, *A. zerumbet* e *M. suaveolens* respectivamente. As taxas de eclosão diminuíram à medida que a concentração dos OEs aumentou.

A maior taxa de inviabilidade de ovos de *O. punicae* foi observada com o OE de *S. cumini* na CL_{90}, resultando em 79,25% de ovos não eclodidos. Este OE contém limoneno em sua composição (Tabela 3), um monoterpeno já associado a efeitos tóxicos em ácaros. Badawy, El-Arami e Abdelgaleil (2010) relataram que o limoneno foi responsável por 70,6% de mortalidade em ovos de *T. urticae*. Isso sugere que a presença desse composto no OE de *S. cumini* contribuiu de maneira significativa para a elevada inviabilidade observada nos ovos de *O. punicae*.

Além disso, estudos com OEs de espécies do mesmo gênero reforçam esse potencial acaricida. Barua *et al*. (2017) demonstraram que diferentes concentrações do OE de *Syzygium aromaticum* (Myrtaceae) reduziram a eclodibilidade de ovos de *O. coffeae* em 86,67%, 80,50% e 70,00%. Esses dados corroboram a eficácia de compostos derivados de *Syzygium* spp. como potenciais agentes no controle de ácaros fitófagos, destacando o papel dos monoterpenos, como o limoneno, na interrupção do desenvolvimento embrionário.

A ação dos OEs sobre os ovos de ácaros ocorre, predominantemente, por contato direto. É provável que sua eficácia esteja associada à penetração de compostos bioativos através de estruturas específicas dos ovos. Os ovos de ácaros possuem um mecanismo respiratório caracterizado pela conexão entre os estigmas e o córion, que permite trocas gasosas através de uma região porosa na membrana intermediária (Dittrich e Streibert, 1969). Essa característica estrutural pode atuar como uma via de entrada para os compostos presentes nos OEs, facilitando sua penetração e potencializando seus efeitos tóxicos. Assim, essas estruturas respiratórias podem desempenhar um papel crucial no mecanismo de ação dos OEs,

permitindo que os compostos atinjam o interior do ovo e interfiram nos processos biológicos necessários para o desenvolvimento embrionário

Os OEs reduziram a eclodibilidade dos ovos sem causar alterações morfológicas visíveis, interrompendo ou inibindo o processo de embriogênese, o que resultou na incapacidade das larvas de romper as cascas dos ovos. O efeito ovicida é uma propriedade fundamental de uma acaricida, pois a viabilidade dos ovos depositados pelas fêmeas tem um papel crucial no tamanho da população da geração seguinte, a interrupção da eclodibilidade desses ovos pode causar redução na velocidade de crescimento populacional da praga (Alves *et al*., 2023).

4.4 Taxa instantânea de crescimento populacional (r_i)

Para verificar os efeitos subletais dos OEs, foram determinadas as CL_{20} e CL_{30} para os quatro óleos, as quais apresentaram valores de 1,20 e 1,44 µL/mL para *A. zerumbet*, 0,20 e 0,29 µL/mL para *B. orellana*, 1,05 e 1,42 µL/mL para *M. suaveolens* e 0,91 e 1,48 µL/mL para *S. cumini*, respectivamente (Figura 2 A e B).

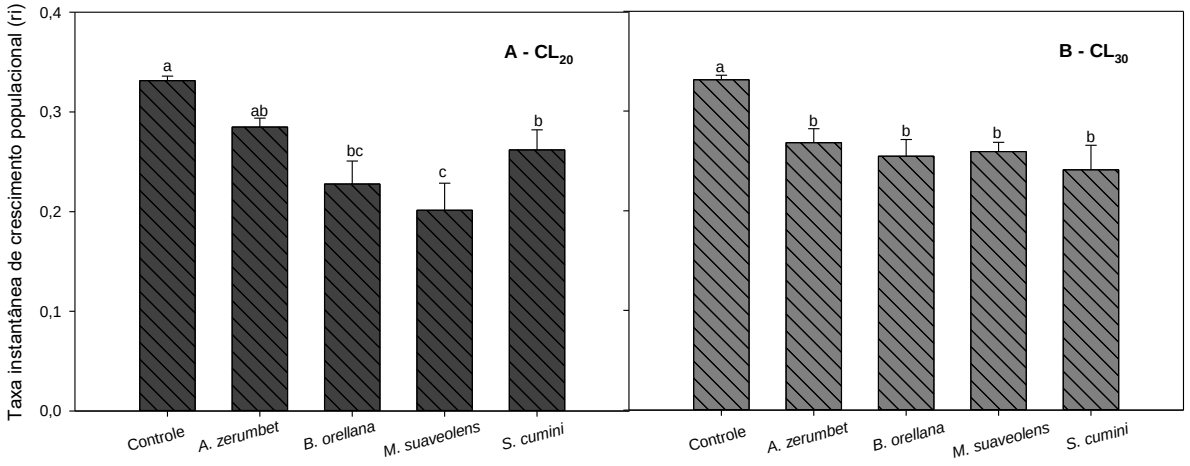

Figura 2 Taxa instantânea de crescimento populacional (r_i) de *O. punicae* observada em discos foliares de eucalipto não tratados e tratados com a CL_{20} (A) (F = 7,21, p < 0,0001) e CL_{30} (B) F = 5,22, p < 0,0008) dos OEs de *A. zerumbet*, *B. orellana*, *M. suaveolens* e *S. cumini*. Os dados são apresentados como média ± EP. Letras diferentes indicam diferença significativa entre os tratamentos, conforme determinado pelo teste de Tukey (p < 0,05)

Valores positivos de r_i indicam crescimento populacional, zero indica estabilidade, e valores negativos indicam declínio até a extinção (Stark e Banks, 2003). Todas as taxas de r_i foram positivas nas concentrações subletais testadas. Na CL_{20}, a r_i de O. *punicae* foi significativamente menor (p < 0,05) nos discos tratados em

comparação ao controle (0,33), exceto para *A. zerumbet* (0,28) (Figura 2A). Na CL_{30}, os valores de r_i foram 0,26; 0,25; 0,25 e 0,24 para *A. zerumbet*, *B. orellana*, *M. suaveolens* e *S. cumini*, respectivamente, e todos diferiram significativamente do controle ($p < 0,05$) (Figura 2B). No entanto, não houve diferença significativa entre os OEs.

Neste estudo, apesar dos valores positivos de r_i de O*. punicae*, indicando ausência de extinção populacional, observou-se uma redução na r_i nos discos foliares tratados com OEs, sugerindo que os OEs diminuíram a população de ácaros. A literatura sobre o efeito dos OEs em *O. punicae* usando r_i é escassa. No entanto, ao investigar o efeito de OEs em outros tetraniquídeos, Bezerra *et al*. (2019) relataram que as taxas de r_i de *Tetranychus ludeni* Zacher permaneceram positivas aos serem expostos a OEs, indicando crescimento populacional contínuo, mas com valores menores em comparação ao controle. Resultados semelhantes foram encontrados por Andrade *et al*. (2021), que avaliaram o efeito do OE de *Varronia curassavica* Jacq sobre *T. urticae*, que embora não tenha ocorrido extinção, a r_i foi reduzida variando de 0,3 a 0,15.

A mortalidade não é o único critério para o controle de pragas, fatores como a inibição da oviposição, alimentação e reprodução também são relevantes. Esses fatores podem ser controlados com menores concentrações de matéria-prima, pois diferentes insetos podem responder de forma variada às concentrações aplicadas (França *et al*., 2017). Dito isso, os OEs de A*. zerumbet*, *B. orellana*, *M. suaveolens* e *S. cumini* podem ter apresentado efeitos subletais causando inibição da oviposição ou reprodução, resultando na redução da populacional de *O. punicae*.

4.5 Atividade repelente

Os OEs foram classificados como repelentes para *O. punicae*, de acordo com o índice de repelência (IR) calculado (Tabela 5).

Tabela 5 Porcentagem de repelência (%), índice de repelência IR (±EPM) e a classificação repelente dos OEs de *A. zerumbet*, *B. orellana*, *M. suaveolens* e *S. cumini* avaliados após 48h de exposição

	Óleos essenciais	(µl/mL)	Porcentagem de repelência (%)	IR (±EPM) *	Classificação **
CL_{20}	*A. zerumbet*	1,20	96,0%	0,08±0,07	Repelente
	B. orellana	0,20	91,0%	0,18±0,08	Repelente
	M. suaveolens	1,05	94,5%	0,12±0,07	Repelente
	S. cumini	0,91	93,5%	0,13±0,08	Repelente
CL_{30}	*A. zerumbet*	1,44	97,0%	0,06±0,04	Repelente
	B. orellana	0,29	92,5%	0,17±0,08	Repelente
	M. suaveolens	1,42	79,0%	0,44±0,18	Repelente
	S. cumini	1,48	95,5%	0,09±0,06	Repelente

*EPM= erro padrão da média. **A classificação dos produtos seguiu o modelo de Matos *et al*. (2020), onde se a média do IR for < 1 - DP, o óleo é repelente; se for > 1 + DP o óleo é atraente e se estiver entre 1 - DP e 1 + DP o óleo é considerado neutro

A porcentagem de repelência da CL_{20} variou entre 91,0% e 96,0%, enquanto na CL_{30}, a porcentagens de repelência foram 97,0, 92,5, 79,0 e 95,5% para *A. zerumbet*, *B. orellana*, *M. suaveolens* e *S. cumini*, respectivamente (Tabela 5). Os resultados do presente estudo indicaram que o OE de *A. zerumbet* demonstrou uma taxa de repelência significativamente maior em ambas as concentrações subletais, alcançando 96% e 97% de repelência. Essa alta eficiência repelente pode ser atribuída à predominância de compostos oxigenados, que representam 68,8% da sua composição (Tabela 2), o que torna esses resultados consistentes com Nerio, Olivero-Verbel e Stashenko (2010), ao verificarem que a maioria dos compostos repelentes para artrópodes foram compostos oxigenados, tendo o grupo hidroxila ligado a um carbono primário, secundário ou aromático, sendo esse o grupo com melhor atividade.

Dentre os compostos oxigenados, o 1,8-cineol está entre os constituintes majoritários do OE de *A. zerumbet*. Esse composto, pode ser detectado por mecanismos sensoriais comuns em espécies de tetraniquídeos, como *T. urticae*, que percebem terpenoides, por meio de receptores ionotrópicos (Gaudet; Faraone; Hillier, 2023). Esses achados sugerem que a repelência observada pode ser mediada pela identificação sensorial de terpenoides, como o 1,8-cineol, e que a resposta desses ácaros a OEs pode ser semelhante.

Os OEs, devido à sua natureza volátil, tendem a exibir atividade repelente, no entanto, essa característica é altamente dependente da composição química do produto (Nerio; Olivero-Verbel; Stashenko 2010; Costa *et al*., 2023). As porcentagens

de repelência obtidas no presente estudo mostram que todos os OEs tiveram alguma atividade repelente sobre *O. punicae* às 48h de exposição, além disso, a eficácia se apresentou em diferentes níveis, o que pode estar relacionado as diferentes concentrações utilizadas e as diferentes espécies vegetais (Rincón; Rodríguez; Coy-Barrera, 2019).

O número de fêmeas adultas de *O. punicae* atraídas para discos foliares de eucalipto tratados com as concentrações subletais dos OEs foi significativamente menor (P<0,05) quando comparado com os discos foliares não tratados (Figura 3). Sendo que discos tratados com a CL_{20} atraíram em média 0,4, 0,9, 0,55 e 0,65 ácaros para *A. zerumbet*, *B. orellana*, *M. suaveolens* e S*. cumini*, respectivamente (Figura 3A). Para discos tratados com a CL_{30}, houve atração de 0,3, 0,75, 2,1 e 0,45 para *A. zerumbet*, *B. orellana*, *M. suaveolens* e S*. cumini*, respectivamente (Figura 3B). Os resultados de atração obtidos confirmam estatisticamente a classificação dos OEs como repelentes em ambas as concentrações testadas.

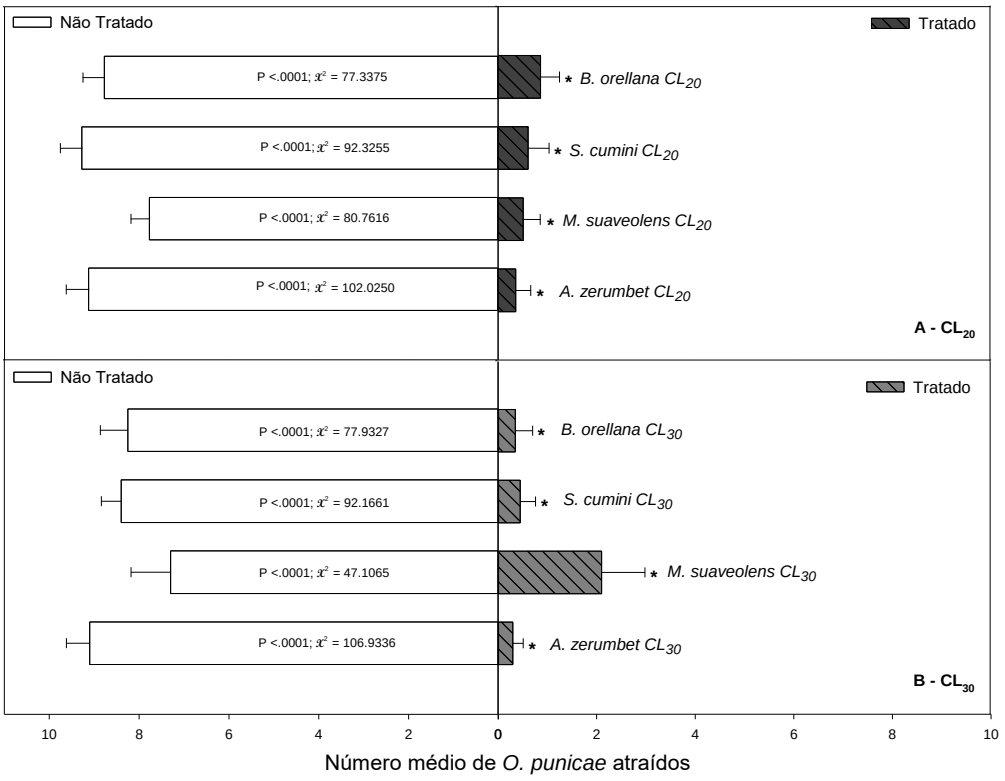

Figura 3 Número de fêmeas adultas de *O.* punicae em discos foliares de eucalipto não tratados e tratados com a CL_{20} (A) e CL_{30} (B) dos OEs de *A. zerumbet*, *B. orellana*, *M. suaveolens* e *S. cumini*. *Significativo pelo teste de Qui-quadrado (P<0,05)

O efeito repelente é característica importante a ser considerada na escolha do óleo, o presente estudo demonstra a eficácia dos OEs em repelir *O. punicae*. A atividade repelente efetiva dos OEs pode estar relacionada aos compostos químicos e ao efeito sinérgico entre seus constituintes, uma vez que a repelência ou atração causadas por OEs resulta da interação de seus compostos com o sistema nervoso dos insetos, seja pela inibição da acetilcolinesterase ou antagonismo dos receptores de octopamina (Chen *et al*., 2019).

5 CONCLUSÃO

Os OES de *A. zerumbet*, *B. orellana*, *M. suaveolens* e *S. cumini* foram quimicamente caracterizados e demonstraram compostos bioativos com atividade acaricida sobre *O. punicae*.

Os efeitos letais incluíram toxicidade significativa sobre fêmeas adultas, com destaque para o óleo de *B. orellana*, que apresentou a maior toxicidade na CL_{50}. Todos os OEs reduziram a viabilidade dos ovos, sendo o óleo de *S. cumini* o mais eficaz, promovendo a menor taxa de eclodibilidade.

Os efeitos subletais revelaram impacto no crescimento populacional e na repelência. Os OES diminuíram o crescimento populacional de *O. punicae*, com a menor taxa de r_i observada para o óleo de *M. suaveolens*. Em relação à repelência, todos os OEs mostraram-se efetivos, destacando-se o OE de *A. zerumbet*.

Esses resultados demonstram o potencial dos OEs como ferramentas para o manejo de *O. punicae*.

REFERÊNCIAS

ABDELGALEIL, S. A. M.; BADAWY, M. E. I.; MAHMOUD, N. F.; MAREI, A. E.-S. Acaricidal activity, biochemical effects and molecular docking of some monoterpenes against two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 156, p.105-115, 2019. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2019.02.006.

AGUELE, F. O.; OKE, E. O.; ABAM, F. L.; NNABODO, D.; AGBANA, A. S. Biological and antioxidant activities, extraction methodology and prospects of essential oil from *Hyptis suaveolens* (L.): A review. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 17, 2023. https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100685.

AGLAGANE, A.; LAGHZAOUI, E. M.; SOULAIMANI, B.; ER-RGUIBI, O.; ABBAD, A.; MOUDEN, E. H. E.; AOURIR, M. Acaricidal activity of *Mentha suaveolens* subsp.

timija, *Chenopodium ambrosioides*, and *Laurus nobilis* essential oils, and their synergistic combinations against the ectoparasitic bee mite, *Varroa destructor* (Acari: Varroidae). **Journal of Apicultural Research**, v. 61, n. 1, p. 9-18, 2021. https://doi.org/10.1080/00218839.2021.1898787.

AHMED, M. M.; ABDELWINES, M. A. Toxicological and physiological activity of lemongrass and peppermint essential oils as acaricidal agents on life-table parameters of *c* (Rahman & Sapra) and its predatory mite, *Cydnoseius negevi* (Swirskii & Amitai). **Phytoparasitica**, v. 52, n. 71, 2024. https://doi.org/10.1007/s12600-024-01187-x.

ALBUQUERQUE, U. P.; MONTEIRO, J. M.; RAMOS, M. A.; AMORIM, E. L. C. Medicinal and magic plants from a public market in northeastern Brazil. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 110, n. 1, p. 76–91, 2007. https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.09.010.

ALVES, J. J. A.; MATOS, C. H. C.; OLIVEIRA, C. R. F.; PEREIRA, V. L. C.; BEZERRA, C. W. F.; FONSECA, K. S. Are vegetable adjuvants increasing the efficiency of the aqueous extract of *Sarcomphalus joazeiro* on *Tetranychus ludeni*?. **Bulletin of Insectology**, v. 76, n. 1, p. 9-19, 2023.

ANDRADE, F. P.; VENZON, M.; DÔRES, R. G. R.; FRANZIN, M. L.; MARTINS, E. F.; ARAÚJO, G. J.; FONSECA, M. C. N. Toxicity of *Varronia curassavica* Jacq. essential oil to two arthropod pests and their natural enemy. **Neotropical Entomology**, v. 50, p. 835–845, 2021. https://doi.org/10.1007/s13744-021-00906-x.

ANJARWALLA, P.; BELMAIN, S.; OFORI, D. A.; SOLA, P.; JAMNADASS, R.; STEVENSON, P. C. **Handbook on Pesticidal Plants**. Nairobi: World Agroforestry Centre (ICRAF), 2016.

ARAÚJO, M. J.; CÂMARA, C. A.; BORN, F. S.; MORAES, M. M.; BADJI, C. A. Acaricidal activity and repellency of essential oil from *Piper aduncum* and its components against *Tetranychus urticae*. **Experimental and Applied Acarology**, v. 57, p. 139–155, 2012. https://doi.org/10.1007/s10493-012-9545-x.

ASHMAWY, N. S.; GAD, H. A.; EL-NASHAR, H. A. S. Comparative study of essential oils from different organs of *Syzygium cumini* (Pamposia) based on GC/MS chemical profiling and in vitro antiaging activity. **Molecules**, v. 28, n. 30, 2023. https://doi.org/10.3390/molecules28237861.

ATAIDE, J.; LOUZADA, I. C.; ZAGO, H.; MENINI, L.; PIROVANI, V. D. Susceptibility of *Tetranychus urtica*e Koch (Acari: Tetranychidae) to essential oil mixtures. **American Journal of Essential Oils and Natural Products**, v. 8, p. 12-17, 2020.

ATMANI-MERABET, G.; BELKHIRI, A.; DEMS, M. A.; LALAOUNA, A.; KHALFAOUI, A.; MOSBAH, B. Chemical composition, toxicity, and acaricidal activity of *Eucalyptus globulus* essential oil from Algeria. **Current Issues in Pharmacy and Medical Sciences**, v. 31, n. 2, p. 89-93, 2018. https://doi.org/10.1515/cipms-2018-0017.

ATTIA, S.; GRISSA, K. L.; LOGNAY, G.; BITUME, E.; HANCE, T.; MAILLEUX, A. C. A review of the major biological approaches to control the worldwide pest *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) with special reference to natural pesticides. **Journal of Pest Science**, v. 86, p. 361–386, 2013. https://doi.org/10.1007/s10340-013-0503-0.

AZEVEDO, N. R.; CAMPOS, I. F. P.; FERREIRA, H. D.; PORTES, T. A.; SERAPHIN, J. C.; PAULA, J. R.; SANTOS, S. C.; FERRI, P. H. Essential oil chemotypes in *Hyptis suaveolens* from Brazilian Cerrado. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 30, n. 3, p. 205-216, 2002. https://doi.org/10.1016/S0305-1978(01)00075-8.

AZMIR, J.; ZAIDUL, I. S. M.; RAHMAN, M. M.; SHARIF, K. M.; MOHAMED, A.; SAHENA, F.; JAHURUL, M. H. A.; GHAFOOR, K.; NORULAINI, N. A. N.; OMAR, A. K. M. Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 4, p. 426-436, 2013. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014.

BADAWY, M. E. I.; EL-ARAMI, S. A. A; ABDELGALEIL, S. A. M. Acaricidal and quantitative structure activity relationship of monoterpenes against the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. **Experimental and Applied Acarology**, v. 52, p. 261–274, 2010. https://doi.org/10.1007/s10493-010-9363-y.

BARBOSA, D. R. S.; SANTOS, R. B. V.; SANTOS, F. M. P.; JUNIOR, P. J. S.; NETO, F. M. O.; SILVA, G. N.; DUTRA, K. A.; NAVARRO, D. M. A. F. Evaluation of *Cymbopogon flexuosus* and *Alpinia zerumbet* essential oils as biopesticides against *Callosobruchus maculatus*. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 129, p. 125–136, 2021. https://doi.org/10.1007/s41348-021-00511-5.

BARUA, A.; ROY, S.; HANDIQUE, G.; BORA, F. R.; RAHMAN, A.; PUJARI, D.; MURALEEDHARAN, N. Clove oil efficacy on the red spider mite, *Oligonychus coffeae* Nietner (Acari: Tetranychidae) infesting tea plants. **Proceedings of the Zoological Society**, v. 70, p. 92–96, 2017. https://doi.org/10.1007/s12595-015-0147-6.

BEGNA, T.; ULZIIBAYAR, D.; BISRAT, D.; JUNG, C. Acaricidal toxicity of four essential oils, their predominant constituents, their mixtures against Varroa mite, and their selectivity to honey bees (*Apis cerana* and *A. mellifera*). **Insects**, v. 14, n. 9, p. 735, 2023. https://doi.org/10.3390/insects14090735.

BEZERRA, J. W. A.; COSTA, A. R.; SILVA, M. A. P.; ROCHA, M. I.; BOLIGONC, A.; ROCHA, J. B. T. BARROS, L. M.; KAMDEMB, J. P. Chemical composition and toxicological evaluation of *Hyptis suaveolens* (L.) Poiteau (LAMIACEAE) in *Drosophila melanogaster* and *Artemia salina*. **South African Journal of Botany**, v. 113, p. 437–442, 2017. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.10.003.

BEZERRA, J. W. A.; RODRIGUES, F. C.; BEZERRA, J. J.; PINHEIRO, A. A. V.; MENEZES, S. A.; TAVARES, A. B.; COSTA, A. R.; FERNANDES, P. A. S.; SILVA, V. B.; COSTA, J. G. M.; CRUZ, R. P.; MORAIS-BRAGA, M. F. B.; COUTINHO, H. D. M.; ALBERGARIA, E. T.; MEIADO, M. V.; SIYADATPANAH, A.; KIM, B.; OLIVEIRA, A. F. M. Traditional uses, phytochemistry, and bioactivities of *Mesosphaerum*

suaveolens (L.) Kuntze. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, 2022. https://doi.org/10.1155/2022/3829180.

BEZERRA, J. W. A.; RODRIGUES, F. C.; COSTA, A. R.; PEREIRA, K. S.; VIEIRA, N. R.; LÔBO, G. O.; DE MENEZES, S. A.; GRANGEIRO NETO, F. A.; PEREIRA FILHO, J. T.; BOMTEMPO, P. H. S.; PEREIRA, T. C.; TAVARES, H. C.; RIBEIRO, T. G.; COSTA, A. R. S.; SOUSA, S. M.; SANTOS, J. F. S.; COUTINHO, H. D. M.; MORAIS BRAGA, M. F. B. *Mesosphaerum suaveolens* (Lamiacae): Source of antimicrobial and antioxidant compounds. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e575986161, 2020. https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.6161.

BEZERRA, Y. B. S.; OLIVEIRA, J. V.; RAMALHO, T. K. A.; BARBOSA, D. R. S.; OLIVEIRA, C. R. F.; OLIVEIRA, C. H. C. M.; LIMA NETO, I. F. A. Atividade acaricida de óleos essenciais sobre *Tetranychus ludeni* (Zacher) (Acari: Tetranychidae) em duas cultivares de algodoeiro. **Nativa**, v. 7, n. 5, p. 469-477, 2019.

BORBARUAH, P.; KALITA, S. Joint action of botanicals against *Helopeltis theivora* waterhouse and *Oligonychus coffeae* Nietner. **Indian Journal of Entomology**, v. 85, n. 1, p. 175–177, 2023. https://doi.org/10.55446/IJE.2022.736.

BORN, F. S.; CÂMARA, C. A. G.; MORAES, M. M.; MELO, J. P. R. Acaricidal properties of the selected components, blends and essential oils of species of genus Protium (Burseraceae) against *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Austral Entomology**, v. 61, n. 2, p. 258-264, 2022. https://doi.org/10.1111/aen.12598.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. AGROFIT: **sistema de agrotóxicos fitossanitários**. 2024. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acessado em: 10 set. 2024.

BRIOZO, M. E. O.; FRANÇA, S. M.; BARBOSA, D. R. S.; DUTRA, K. A.; NAVARRO, D. M. A. F.; SILVA, P. R. R. Lethal and sublethal effects of essential oils on *Tetranychus neocaledonicus* (Acari: Tetranychidae). **Systematic and Applied Acarology**, v. 27, n. 12, 2022. https://doi.org/10.11158/saa.27.12.11.

CAMILO, C. J.; NONATO, C. F. A.; GALVÃO-RODRIGUES, F. F.; COSTA, W. D.; CLEMENTE, G. G.; MACEDO, M. A. C. S.; RODRIGUES, F. F. G.; COSTA, J. G. M. Acaricidal activity of essential oils: a review. **Trends in Phytochemical Research**, v. 1, n. 4, p.183-198, 2017.

CASTAÑEDA-CABRERA, C.; PERALES-SEGOVIA, C.; LÓPEZ-MURAIRA, I. G.; MIRANDA-SALCEDO, M.; GARCIA-MUNGUIA, A. M.; SILOS-ESPINO, H. Ethanolic plant extracts as potential biomiticides against *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae) on avocado in Mexico. **Southwestern Entomologist**, v. 48, n. 2, p. 333-340, 2023. https://doi.org/10.3958/059.048.0206.

CASTRO, K. N. C.; CANUTO, K. M.; BRITO, E. S.; COSTA-JÚNIOR, L. M.; ANDRADE, I. M.; MAGALHÃES, J. A.; BARROS, D. M. A. In vitro efficacy of essential oils with different concentrations of 1,8-cineole against *Rhipicephalus*

(Boophilus) *microplus*. **Revista Brasileira De Parasitologia Veterinária**, v. 27, n. 2, p. 203–210, 2018. https://doi.org/10.1590/S1984-296120180015.

CASTRO, K. N. C.; COSTA-JÚNIOR, L. M.; CANUTO, K. M.; ANDRADE, I. M.; MINHO, A. P.; SOUZA, F. A. L. In vitro efficacy of essential oils against *Haematobia irritans*. **Medicina Veterinária**, v. 16, n. 4, p. 257–263, 2023. https://doi.org/10.26605/medvet-v16n4-5357.

CASTRO, R. T. Q. H.; VALDÉS, R. A.; SILVA, S. O.; CORTÉS, H. M.; JUÁREZ, A. H.; HERNÁNDEZ, C. C. Evaluation of Ethanol Extract of Moringa oleifera Lam. As acaricide against *Oligonychus punicae* Hirst (Trombidiformes: Tetranychidae). **Insects**, v. 12, n. 476, 2021. https://doi.org/10.3390/insects12050476.

CHAABAN, S. B.; CHERMITI, B.; KREITER, S. Effects of host plants on distribution, abundance, developmental time and life table parameters of *Oligonychus afrasiaticus* (McGregor) (Acari: Tetranychidae). **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 52, n. 10, 2012. https://doi.org/10.1590/S0031-10492012001000001.

CHAN, E. W. C.; KEZUKA, M.; CHAN, H. T.; WONG, S. K. *Alpinia zerumbet*: A review of the chemistry, quantity, and pharmacological properties of selected kavalactones. **Journal of Natural Remedies**, v. 23, n. 3, p. 699–709, 2023. https://doi.org/10.18311/jnr/2023/32132.

CHAUBEY, M. K. Insecticidal property of terpenes against maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky). **Journal of Biopesticides**, v.15, n. 2, p. 92, 2022. https://doi.org/10.57182/jbiopestic.15.2.91-102.

CHEN, Z.; PANG, X.; GUO, S.; ZHANG, W.; GENG, Z.; ZHANG, Z.; DU, S.; DENG, Z. Chemical composition and bioactivities of *Alpinia Katsumadai* Hayata seed essential oil against three stored product insects. **Journal of Essential Oil-Bearing Plants**, v. 22, n. 2, p. 504–515, 2019. https://doi.org/10.1080/0972060X.2019.1611482.

CHENG, Z.; DUAN, H.; ZHU, X.; FAN, F.; LI, R.; LI, S.; MA, X.; ZHANG, E.; LIU, Y.; WANG, J. Effects of patchouli and wormwood oils on the bioassays and behaviors of *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) (Acari: Tetranychidae). **International Journal of Pest Management**, v. 66, n. 3, p. 271–278, 2019. https://doi.org/10.1080/09670874.2019.1636155.

CHHIKARA, N.; KAUR, R.; JAGLAN, S.; SHARMA, P.; GAT, Y.; PANGHAL, A. Bioactive compounds and pharmacological and food applications of *Syzygium cumini* - a review. **Food and Function**, v. 9, n. 12, p. 6096-6115, 2018. https://doi.org/10.1039/c8fo00654g.

CHUO, S. C.; NASIR, H. M.; MOHD-SETAPAR, S. H.; MOHAMED, S. F.; AHMAD, A.; WANI, W. A.; MUDDASSIR, M.; ALARIFI, A. A Glimpse into the extraction methods of active compounds from plants. **Critical Reviews in Analytical Chemistry**, v. 52, n. 4, p. 667-696, 2020. https://doi.org/10.1080/10408347.2020.1820851.

COSTA, J. S.; CRUZ, E. N. S.; SETZER, W. N.; SILVA, J. K. D. R.; MAIA, J. G. S.; FIGUEIREDO, P. L. B. Essentials oils from Brazilian *Eugenia* and *Syzygium* species and their biological activities. **Biomolecules**, v. 10, n. 8, 2020. https://doi.org/10.3390/biom10081155.

COSTA, T. L.; SANTOS, R. C.; SANTOS, A. A.; PIMENTEL, E. S.; LIMA, E.; BATISTA, C. V.; BACCI, L.; FREITAS, D. R.; PICANÇO, M. C. Lethal and sublethal effects of an essential oil-based emulsion of patchouli, *Pogostemon cablin* (Lamiaceae), on the tomato leafminer. **Agriculture**, v. 13, n. 8, 2023. https://doi.org/10.3390/agriculture13081540.

CUA-BASULTO, M. E.; RUIZ-SÁNCHEZ, E.; CHAN-CUPUL, W.; REYES-RAMÍREZ, A.; BALLINA-GÓMEZ, H.; HERNÁNDEZ NÚÑEZ, E.; MARTIN-MEX, R.; GOROCICA, A. M. H.; RUIZ-JIMÉNEZ, A. L. Effects of botanical acaricides on *Tetranychus urticae* and compatibility with the predatory mite *Amblyseius swirskii*. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 56, n. 17, p. 1359–1371, 2023. https://doi.org/10.1080/03235408.2023.2289216.

DANNA, C.; MALASPINA, P.; CORNARA, SMERIGLIO, A.; TROMBETTA, D.; FEO, V.; VANIN, S. *Eucalyptus* essential oils in pest control: a review of chemical composition and applications against insects and mites. **Crop Protection**, v. 176, 2024. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106319.

DEVRNJA, N.; MILUTINOVIĆ, M.; SAVIĆ, J. When Scent Becomes a Weapon: Plant Essential Oils as Potent Bioinsecticides. **Sustainability**, v. 14, n. 11, p. 6847, 2022. https://doi.org/10.3390/su14116847.

DITTRICH, V.; STREIBERT P. The respiratory mechanism of spider mite eggs. **Zeitschrift für Angewandte Entomologie**, v. 63, n. 1-4, p. 200-211, 1969.

EBADOLLAHI, A.; SENDI, J. J.; MAROUFPOOR, M.; RAHIMI-NASRABADI, M. Acaricidal potentials of the terpene-rich essential oils of two iranian eucalyptus species against *Tetranychus urticae* Koch. **Journal of Oleo Science**, v. 66, n. 3, 307-314, 2017. https://doi.org/10.5650/jos.ess15258.

EL-NASHAR, H. A. S.; ELDEHNA, W. M.; AL-RASHOOD, S. T.; ALHARBI, A.; ESKANDRANI, R. O.; ALY, S. H. GC/MS analysis of essential oil and enzyme inhibitory activities of *Syzygium cumini* (Pamposia) grown in Egypt: chemical characterization and molecular docking studies. **Molecules**, v. 26, n. 22, 2021. https://doi.org/10.3390/molecules26226984.

EVERTON, G. O.; SALES, E. H.; MAFRA, N. S. C.; ARAÚJO, R. J.; JÚNIOR, P. S. S.; ROSA, P. V. S.; PEREIRA, A. P. M.; SOUZA, F. S.; MENDONCA, C. J. S.; SILVA, F. C.; GOMES, P. R. B.; FILHO, V. E. M. Drying kinetics of *Bixa orellana* Labil (annatto) leaves and the influence of temperature on the physicochemical and biological properties of its essential oil. **Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas**, v. 49, n. 3, p, 614-640, 2020. https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v49n3.91251.

FANG, F.; LI, M.; JIANG, Z.; LU, X.; GUILLOT, J.; SI, H. Comparing acaricidal and ovicidal activity of five terpenes from essential oils against *Psoroptes cuniculi*. **Parasitology Research**, v. 119, n. 12, p. 4219-4223, 2020. https://doi.org/10.1007/s00436-020-06823-z.

FARAHANI, S.; BANDANI, A. R.; AMIRI, A. Toxicity and repellency effects of three essential oils on two populations of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Persian Journal of Acarology**, v. 9, n. 1, p. 67–81, 2020.

FELIPE, L. O.; BICAS, J. B. Terpenos, aromas e a química dos compostos naturais. **Química nova na escola**, v. 39, n. 2, p. 120-130, 2017. https://doi.org/10.21577/0104-8899.20160068.

FENG, Y. X.; LU, X. X.; DU, Y. S.; ZHANG, J. W.; ALMAZ, B.; ZENG, D.; DU, S. S. Synergized potential, insecticidal and repellent activity of essential oils from two Rhododendron species against three stored product insects. **Journal of Essential Oil Research**, v. 35, n. 1, p. 91–101. https://doi.org/10.1080/10412905.2022.2118879.

FENG, Y.; ZHANG, X.; WANG, B. Y.; CHEN, Z. Y.; LU, X.; DU, Y.; DU, S. The potential contribution of cymene isomers to insecticidal and repellent activities of the essential oil from *Alpinia zerumbet*. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 157, 2021. https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2020.105138.

FERES, R. J. F.; LOFEGO, A. C.; OLIVEIRA, A. R. Ácaros plantícolas (Acari) da "Estação Ecológica do Noroeste Paulista", estado de São Paulo, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 5, n. 1, 2005. https://doi.org/10.1590/S1676-06032005000100005.

FERRAZ, J. C. B.; SILVA, P. R. R.; AMARANES, M. P.; MELO, J. W. S.; DE LIMA, D. B.; FRANÇA, S. M. Biology and fertility life table of *Oligonychus punicae* Hirst (Acari: Tetranychidae) associated with eucalyptus in a clonal minigarden. **Systematic and Applied Acarology**, v. 25, n. 1, p. 103-112, 2020. https://doi.org/10.11158/saa.25.1.8.

FERRAZ, J. C. B.; SILVA, P. R. R.; AMARANES, M. P.; SANTOS, M. F.; MELO, J. W. S.; DE LIMA, D. B.; FRANÇA, S. M. *Oligonychus punicae* as a pest of *Eucalyptus urophylla* in cultivation and potential new host species in Brazil. **International Journal of Acarology**, v. 45, n. 1–2, p. 75–78, 2019. https://doi.org/10.1080/01647954.2018.1543349.

FERRAZ, J. C. B.; SILVA, S. M.; FRANÇA, S. M.; SILVA, P. R. R.; MELO, J. W. S.; LIMA, D. B. Host preference, population dynamics, distribution, and injuries of *Oligonychus punicae* (Acari: Tetranychidae) in an eucalyptus clonal minigarden. **Systematic and Applied Acarology**, v. 25, n. 9, p. 1649-1660, 2020. https://doi.org/10.11158/saa.25.9.10.

FLECHTMANN, C. A. H. Dois ácaros novos para o eucalipto, com uma lista daqueles já assinalados para esta planta. Piracicaba, SP: **IPEF**, v. 1, n. 23, p. 43-46, 1983.

FLECHTMANN, C. H. W. **Ácaros de importância agrícola**. São Paulo: Nobel, 6. ed.,189 p., 1989.

FLECHTMANN, C. H. W.; BAKER, E. W. A preliminary report on the Tetranychidae (Acarina) of Brazil. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 63, n. 1, p. 156–163, 1970. https://doi.org/10.1093/aesa/63.1.156.

FOREZI, L. S. M.; FERREIRA, P. G.; HÜTHER, C. M.; SILVA, F. C.; FERREIRAB, V. F. Aqui tem química: parte IV. Terpenos na perfumaria. **Revista Virtual de Química**, p. 1-20, 2022. http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20220055.

FRANÇA, S. M.; BREDA, M. O.; BARBOSA, D. R. S.; ARAUJO, A. M. N.; GUEDES, A. C. The sublethal effects of insecticides in insects. In: SHIELDS, V. D. C. (Org). **Biological control of pest and vector insects**. Townson: IntechOpen, p. 23-39, 2017.

FRÓES, Y. N.; PEREIRA, A. P. M.; ROSA, P. V. S.; SOUTO, L. A. S; ARRUDA, M. O.; ARAÚJO, L. F. C.; COSTA, A. T.; FONSECA, D.; NASCIMENTO, D. P.; EVERTON, G. O.; MOUCHREK FILHO, V. E.; SOUSA, J. C. S. Antimicrobial activity of the essential oil from *Bixa orellana* L. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. e8129108447, 2020. https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8447.

FU, Q.; ZENG, B.; XIAO, Q.; HE, B.; HUANG, C.; BAO, M. Essential oils for the treatment of dust mites. **E3S Web of Conferences**, v. 271, p. 04032, 2021. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127104032.

GAID, E. H.; CHOUIKHI, S.; ASSADI, B. H.; LEBDI, K. G.; BELKADHI, M. S. Acaricidal Activity of Essential Oils from *Lantana camara* (Verbenaceae) and *Ruta chalepensis* (Rutaceae) against *Oligonychus afrasiaticus* (Acari: Tetranychidae). **Journal of Entomological Science**, v. 59, n. 3, p. 332-343, 2024. https://doi.org/10.18474/JES23-70.

GAUDET, K.; FARAONE, N.; HILLIER, N. K. Investigating chemoreception and behavioural responses of *Tetranychus urticae* (Trombidiformes: Tetranychidae) to organic acids, aldehydes and essential oil components. **Frontiers in Agronomy**, v. 1, p. 1-11, 2023.

GOMES, M. S.; MAGNAGO, A.; HOLTZ, A. M.; MARCHIORI, J. J. P.; PIFFER, A. B. M.; PRETTI, I. R.; DE CARVALHO, J. R.; FORNACIARI, G.; AGUIAR, R. L. Citrus species hydroalcoholic extracts are promising alternatives for the sustainable coffee red mite (*Oligonychus ilicis*) management?. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, v. 21, n. 9, p. 11148–11161, 2023. https://doi.org/10.55905/oelv21n9-036.

GOMES, P. R. B.; EVERTON, G. O.; FONTENELE, M. A.; SOUZA, R. D.; FREITAS, A. C.; HUNALDO, V. K. L.; LOUZEIRO, H. C.; RODRIGUES, N. F. M.; REIS, J. B.; MOUCHREK FILHO, V. E. Chemical composition, larvicidal and molluscicidal activity of the essential oil *Alpinia zerumbet*. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 26, n. 5, p. 1256–1265, 2023. https://doi.org/10.1080/0972060X.2023.2282580.

GUERRINI, A.; TACCHINI, M.; CHIOCCHIO, I.; GRANDINI, A.; RADICE, M.; MARESCA, I.; PAGANETTO, G.; SACCHETTI, G. A comparative study on chemical compositions and biological activities of four amazonian Ecuador essential oils: *Curcuma longa* L. (Zingiberaceae), *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf, (Poaceae), *Ocimum campechianum* Mill. (Lamiaceae), and *Zingiber officinale* Roscoe (Zingiberaceae). **Antibiotics**, v. 12, n. 1, p. 177, 2023. https://doi.org/10.3390/antibiotics12010177.

HANIF, M. U.; HUSSAIN, A. I.; ASLAM, N.; KAMAL, G. M.; CHATHA, S. A. S.; SHAHIDA, S.; KHALID, M.; HUSSAIN, R. Chemical composition and bioactivities of essential oil from leaves of *Syzygium cumini* (L.) Skeels native to Punjab, Pakistan. **Chemistry and Biodiversity**, v. 17, n. 8, p. e1900733, 2020. https://doi.org/10.1002/cbdv.201900733.

HASELTON, A. T.; ACEVEDO, A.; KURUVILLA, J.; WERNER, E.; KIERNAN, J.; DHAR, P. Repellency of α-pinene against the house fly, *Musca domestica*. **Phytochemistry**, v. 117, p. 469-475. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2015.07.004.

HEINZ-CASTRO, R. T. Q.; ARREDONDO-VALDÉS, R.; ORDAZ-SILVA, S.; MÉNDEZ-CORTÉS, H.; HERNÁNDEZ-JUÁREZ, A.; CHACÓN-HERNÁNDEZ, J. C. Evaluation of ethanol extract of *Moringa oleifera* Lam. as acaricide against *Oligonychus punicae* Hirst (Trombidiformes: Tetranychidae). **Insects**, v. 12, n. 5, p. 476, 2021. https://doi.org/10.3390/insects12050476.

HERNANDEZ, E. P.; ANISUZZAMAN; ALIM, M. A.; KAWADA, H.; KWOFIE, K. D.; LADZEKPO, D.; KOIKE, Y.; INOUE, T.; SASAKI, S.; MIKAMI, F.; MATSUBAYASHI, M.; TANAKA, T.; TSUJI, N.; HATTA, T. Ambivalent roles of oxidative stress in triangular relationships among arthropod vectors, pathogens and hosts. **Antioxidantes**, v. 11, n. 7, 2022. https://doi.org/10.3390/antiox11071254.

HIRKO, B.; GETU, A. *Bixa Orellana* (Annatto Bixa): A review on use, structure, extraction methods and analysis. **Journal of Agronomy, Technology and Engineering Management**, v. 5, n. 1, p. 687-696, 2022.

HOU, J.; GONG, H.; GONG, Z.; QIN, X.; NIE, J.; ZHU, H.; ZHONG, S. Chemical composition and potential antimicrobial and anti-inflammatory activities of essential oil from fruits of *Alpinia zerumbet* (Pers.) B.L.Burtt & R.M.Sm. **Chemistry and Biodiversity**, v. 20, n. 12, 2023. https://doi.org/10.1002/cbdv.202301269.

HOY, M. A. **Agricultural acarology**: Introduction to integrated mite management. Management. CRC Press, 1. ed., 2011. https://doi.org/10.1201/b10909.

IMBACHI-LÓPEZ, K.; ESTRADA-VENEGAS, E. G.; EQUIHUA-MARTÍNEZ, A. **Biología de *Oligonychus punicae* (Hirst, 1926) (Acari: Tetranychidae) en *Persea americana* cv. Hass en condiciones de laboratório**. Memorias del V Congreso Latinoamericano del Aguacate, 2017.

ISMAN, M. B. Commercial development of plant essential oils and their constituents as active ingredients in bioinsecticides. **Phytochemistry Reviews**, v. 19, p. 235–241, 2020. https://doi.org/10.1007/S11101-019-09653-9.

JEZLER, C. N.; BATISTA, R. S.; ALVES, P. B.; SILVA, D. C.; COSTA, L. C. B. Histochemistry, content and chemical composition of essential oil in different organs of *Alpinia zerumbet*. **Ciência Rural**, v. 43, n. 10, p. 1811–1816, 2013. https://doi.org/10.1590/S0103-84782013001000013.

KAPADIA, P.; NEWELL, A. S.; CUNNINGHAM, J.; ROBERTS, M. R.; HARDY, J. G. Extraction of high-value chemicals from plants for technical and medical applications. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 18, p. 10334, 2022. https://doi.org/10.3390/ijms231810334.

KAR, B.; CHANDAR, B.; RACHANA, S.S.; BHATTACHARYA, H.; BHATTACHARYA, D. Antibacterial and genotoxic activity of *Bixa orellana*, a folk medicine and food supplement against multidrug resistant clinical isolates. **Journal of Herbal Medicine**, v. 32, 2022. https://doi.org/10.1016/j.hermed.2021.100502.

KONWAR, J.; HAZARIKA, B.; SAIKIA, G. K.; GOGOI, I.; ROY, S.; BORA, A. Efficacy of sesame oil and mustard oil formulations against red spider mite of tea. **International Journal of Environment and Climate Change**, v. 13, n. 11, p. 1178-1184, 2023. https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i113268.

KRANZ, G. W; WALTER, D. E. **A manual of Acarology**. Texas: Press Lubock, 3. ed. p. 807, 2009.

LAMMARI, N.; LOUAER, O.; MENIAI, A.H.; ELAISSARI, A. Encapsulation of essential oils via nanoprecipitation process: Overview, progress, challenges and prospects. **Pharmaceutics**, v. 12, n. 5, p. 431, 2020. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12050431.

LARA-VÁZQUEZ, F.; RAMÍREZ-DÁVILA, J. F.; FIGUEROA-FIGUEROA, D. K.; TAPIA-RODRÍGUEZ, A.; GONZÁLEZ-HUERTA, A. Spatial modeling of red spider mite *Oligonychus punicae* (Acari: Tetranychidae) in avocado crop. **Florida Entomologist**, v. 106, n. 4, p.211-219, 2023. https://doi.org/10.1653/024.106.0402.

LEEUWEN, T. V.; TIRRY, L.; YAMAMOTO, A.; NAUEN, R.; DERMAUW, W. The economic importance of acaricides in the control of phytophagous mites and an update on recent acaricide mode of action research. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 121, p. 12-21, 2015. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.12.009.

LI, S.; LI, H.; ZHOU, Q.; ZHANG, F. DESNEUX, N.; WANG, S.; SHI, L. Essential oils from two aromatic plants repel the tobacco whitefly *Bemisia tabaci*. **Journal of Pest Science**, v. 95, p. 971–982, 2022. https://doi.org/10.1007/s10340-021-01412-0.

LIMA, A. S.; FERNANDES, Y. M. L.; SILVA, C. R.; COSTA-JUNIOR, L. M.; FIGUEIREDO, P. L. B.; MONTEIRO, O. S.; MAIA, J. G. S.; ROCHA, C. Q. Anthelmintic evaluation and essential oils composition of *Hyptis dilatata* Benth. and

Mesosphaerum suaveolens Kuntze from the Brazilian Amazon. **Acta Tropica**, v. 228, 2022. https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2022.106321.

LIMA, E. E.; COSTA, A. R.; ALMEIDA-BEZERRA, J. W.; SILVA, V. B.; MENEZES, S. A.; SILVA, F. S. H.; OLIVEIRA, M. G.; SANTOS, L. T.; SANTOS, M. A. F.; FIDELIS, K. R.; CANDIDO, T. M.; SOUZA, F. G. L. S.; LÔBO, G. O.; SILVA, N. C.; MOURA, J. C. Phytochemistry, chelating and reducing potential of *Mesosphaerum suaveolens* (L.) Kuntze (Lamiaceae) essential oil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. e1099119333, 2020. https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9333.

LOPES, R. P.; PARREIRA, L. A.; VENANCIO, A. N.; SANTOS, M. F. C.; MENINI, L. Chemical characterization and evaluation of acaricidal potential of rosemary essential oil and its main compound α-pinene on the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. **Natural Product Research**, v. 37, n. 17, p. :2940-2944, 2023. https://doi.org/10.1080/14786419.2022.2137799.

LUCIA, A.; GUZMÁN, E. Emulsions containing essential oils, their components or volatile semiochemicals as promising tools for insect pest and pathogen management. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 287, 2021. https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102330.

LUZ, T. R. S. A.; LEITE, J. A. C.; MESQUIRA, L. S. S.; BEZERRA, S. A.; SILVEIRA, D. P. B.; MESQUITA, J. W. C.; RIBEIRO, E. C. G.; VILANOVA, C. M.; RIBEIRO, MA. N. S.; AMARAL, F. M. M.; COUTINHO, D. F. Seasonal variation in the chemical composition and biological activity of the essential oil of *Mesosphaerum suaveolens* (L.) Kuntze. **Industrial Crops and Products**, v.153, 2020. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112600.

MACHADO, R. R. P.; JARDIM, D. F.; SOUZA, A. R.; SCIO, E.; FABRI, R. L.; CARPANEZ, A. G; GRAZUL, R. M.; MENDONÇA, J. P. R. F.; LESCHE, B.; AARESTRUP, F. M. The effect of essential oil of *Syzygium cumini* on the development of granulomatous inflammation in mice. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 23, n. 3, p. 488-496, 2013. https://doi.org/10.1590/S0102-695X2013005000030.

MAES, C.; BOUQUILLON, S.; FAUCONNIER, M. L. Encapsulation of essential oils for the development of biosourced pesticides with controlled release: A review. **Molecules**, v. 24, n. 14, p. 2539, 2019. https://doi.org/10.3390/molecules24142539.

MALLAVAPURU, G. R.; RAMESH, S.; KAUL, P. N.; BHATTACHARYA, A. K.; RAO, B. R. R. The essential oil of *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. **Journal of Essential Oil Research**, v. 5, n. 3, p. 321-323, 2011. https://doi.org/10.1080/10412905.1993.9698230.

MAR, J. M.; SILVA, L. S.; AZEVEDO, S. G.; FRANÇA, L. P.; GOES, A. F. F.; SANTOS, A. L.; BEZERRA, J. A.; NUNOMURA, R. C. S.; MACHADO, M. B.; SANCHES, E. A. Lippia origanoides essential oil: An efficient alternative to control *Aedes aegypti*, *Tetranychus urticae* and *Cerataphis lataniae*. **Industrial Crops and Products**, v. 111, p. 292-297, 2018.

MATOS, L. F.; BARBOSA, D. R. S.; LIMA, E. C.; DUTRA, K. A.; NAVARRO, D. M. A. F.; ALVES, J. L. R.; SILVA, G.N. Chemical composition and insecticidal effect of essential oils from Illicium verum and *Eugenia caryophyllus* on *Callosobruchus maculatus* in cowpea. **Industrial Crops and Products**, v. 145, 2020. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112088.

MENDES, F. R. S.; SILVA, F. G. E.; SOUSA, E. O.; RODRIGUES, F. F. G.; COSTA, J. G. M.; MONTE, F. J. Q.; LEMOS, T. L.G.; ASSUNÇÃO, J. C. C. Essential oil of *Alpinia zerumbet* (Pers.) B.L. Burtt. & R.M. Sm. (Zingiberaceae): chemical composition and modulation of the activity of aminoglycoside antibiotics. **Journal of Essential Oil Research**, v. 27, n. 3, p. 259–263, 2015. https://doi.org/10.1080/10412905.2015.1014935.

MIRESMAILLI, S.; BRADBURY, R.; ISMAN, M. B. Comparative toxicity of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil and blends of its major constituents against *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) on two different host plants. **Pest Management Science**, v. 62, n. 04, 2006. https://doi.org/10.1002/ps.1157.

MOHAMED, A. A.; ALI, S. I.; EL-BAZ, F. K. Antioxidant and antibacterial activities of crude extracts and essential oils of *Syzygium cumini* leaves. **PLoS One**, v. 8, n. 4, 2013. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0060269.

MORAES, G. J.; FLECHTMANN, C. H. W. **Manual de acarologia**: Acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil. Ribeirão preto: Holos, 2008.

MOTA, J.; BARBOSA, L.; MARCHIORO, C. Suitable areas for invasive insect pests in Brazil and the potential impacts for *Eucalyptus* forestry. **Pest management science**, v. 78, n. 6, p. 2596-2606, 2022. https://doi.org/10.1002/ps.6891.

MUSHTAQ, H. M. S.; KAMRAN, M.; SALEH, A. A.; ALATAWI, F. J. Evidence for reconsidering the taxonomic status of closely related *Oligonychus* species in punicae complex (Acari: Prostigmata: Tetranychidae). **Insects**, v. 14, n. 1, 2023. https://doi.org/10.3390/insects14010003.

NAZ, S.; RASHEED, M. N.; SAEED, J.; AAL-AHMAD; GHUFFAR, A.; KASHIF, A. R.; WAHEED, R. Isolation of Bioactive compounds from the essential oil of Jambolan (*Syzygium cumini*) and Invitro evaluation of biological potential. **Journal Advances of Nutrition Science and Technology**, v. 3, n.1, p. 15-23, 2023. https://doi.org/10.15228/ANST.2023.v03.i01-2.p03.

NERIO, L. S.; OLIVERO-VERBEL, J.; STASHENKO, E. Repellent activity of essential oils: a review. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 1, p. 372-378, 2010. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.048.

NEXTICAPAN-GARCÉZ, Á.; CUA-BASULTO, M.; MARTÍN-MEX, R.; PÉREZ-BRITO, D.; LARQUÉ-SAAVEDRA, A.; VILLANUEVA-COUOH, E.; PÉREZ-GUTIÉRREZ, A.; RUIZ-SÁNCHEZ, E. Effects of botanical acaricides on *Raoiella indica* and *Oligonychus* sp. and their toxicity on two species of phytoseiid predatory mites. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 54, n. 19–20, p. 2221–2232, 2021. https://doi.org/10.1080/03235408.2021.1925515.

NISHIDONO, Y.; TANAKA, K. Phytochemicals of *Alpinia zerumbet*: A Review. **Molecules**, v. 29, 2024. https://doi.org/10.3390/molecules29122845.

PALERMO, D.; GIUNTI, G.; LAUDANI, F.; PALMERI, V.; CAMPOLO, O. Essential oil-based nano-biopesticides: formulation and bioactivity against the confused flour beetle *Tribolium confusum*. **Sustainability**, v. 13, 2021. https://doi.org/10.3390/SU13179746.

PAVELA, R.; BENELLI, G. Essential Oils as Ecofriendly Biopesticides? Challenges and Constraints. **Trends in Plant Science**, v. 21, n. 12, p. 1000 – 1007, 2016. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.10.005.

PEREIRA, F. F.; ANJOS, N.; ALMADO, R. P.; RODRIGUES, L. A. L. Primeiro registro de *Oligonychus yothersi* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) em *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden no Brasil. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4, p. 657-659, 2005.

PIRAMOON, P.; MOHAMMADZADEH, A.; MOHAMMADZADEH, M.; BEHZADI, M.; DEHGHAN, A.; MOHAMMADZADEH, M.; RASTAKHIZ, N. Toxicity and sublethal effects of plant essential oils on life history and detoxification enzymes activity of two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae). **Toxin Reviews**, v. 41, n. 4, p.1191-1198, 2021. https://doi.org/10.1080/15569543.2021.1987266.

QUEIROZ, D. L.; FLECHTMANN, C. H. W. Ácaros em eucaliptos. In: LEMES, P. G.; ZANUNCIO, J. C. **Novo Manual de Pragas Florestais Brasileiras**. Montes Claros: Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

QUEIROZ, D. L.; SOLIMAN, E. P.; BURCKHARDT, D. Principais pragas em viveiros de mudas de eucalipto. In: LEMES, P. G.; ZANUNCIO, J. C. **Novo Manual de Pragas Florestais Brasileiras**. Montes Claros: Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, 2021.

RAJU, S. K.; CHANDRASEKAR, S.; VENGADHAJALAPATHY, P.; SUNDARAM, R.; PERIYASAMY, S.; CHINNARAJ, T.; SEKAR, P.; KUMAR, S. Review on phytochemical composition and pharmacological activities of *Bixa orellana* L. **Journal of Pharmaceutical and Biological Sciences**, 2022. https://doi.org/10.18231/j.jpbs.2022.012.

REIS, P. R. **Fundamentos de Acarologia Agrícola**. Lavras, 2010.

REIS, P. R.; ZACARIAS, M. S. **Ácaros em cafeeiro**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007.

REYES-ZEPEDA, F.; HEINZ-CASTRO, R. T. Q.; OLAZARAN-SANTIBAÑEZ, F. E.; ORDAZ-SILVA, S.; PEDRO-MÉNDEZ, J. G.; CHACÓN-HERNÁNDEZ, J. C. Evaluation of ethanolic powdered extract of *Magnolia tamaulipana* Vazquez against *Oligonychus punicae* Hirst (Trombidiformes: Tetranychidae). **Plants**, v. 11, n. 13, 2022. https://doi.org/10.3390/plants11131711.

RINCÓN, R. A.; RODRÍGUEZ, D.; COY-BARRERA, E. Botanicals Against *Tetranychus urticae* Koch under laboratory conditions: A survey of alternatives for

controlling pest mites. **Plants**, v. 8, n. 8, p. 272, 2019. https://doi.org/10.3390/plants8080272.

RODRIGUES, A. C.; BOMFIM, L. M.; NEVES, S. P.; MENEZES, L. R.; DIAS, R. B.; SOARES, M. B.; PRATA, A. P.; ROCHA, C. A.; COSTA, E. V.; BEZERRA, D. P. Antitumor properties of the essential oil from the leaves of *Duguetia gardneriana*. **Planta Medica**, v. 81, n. 10, p. 798-803, 2015. https://doi.org/10.1055/s-0035-1546130.

RODRIGUES, G. S. S. C.; TEIXEIRA, G.; SANTIAGO, O. R. P. L. Silvicultura e impactos socioambientais. In: RODRIGUES, G. S. S. C.; ROSS, J. L. S.; TEIXEIRA, G.; SANTIAGO, O. R. P. L.; FRANCO, C. **Eucalipto no Brasil**: Expansão geográfica e impactos ambientais. Uberlândia: Composer, 2021.

SALES, E. H.; ROSA, P. V. S.; MAFRA, N. S. C.; SOARES, L. B. C.; DUARTE, R. V. S.; DIAS, A. A. S.; COSTA, A. T.; NUNES, L. K. S.; SOUSA, T. L.; FELIZARDO, M. G. A. C.; OLIVEIRA, J. P. M.; EVERTON, G. O. Influence of drying on the biological potentials of *Bixa orellana* L. essential oil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e737986371, 2020. https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.6371.

SANTAMARIA, M. E.; ARNAIZ, A.; GONZALEZ-MELENDI, P.; MARTINEZ, M.; DIAZ, I. Plant perception and short-term responses to phytophagous insects and mites. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 5, p. 1356, 2018. https://doi.org/10.3390/ijms19051356.

SANTANA, M. F.; OLIVEIRA, V.; BREDA, M. O.; BARBOSA, S. Host preference, acaricides effects and population growth of *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae) on white and colored cotton cultivars. **Pest Management Science**, v. 77, p.217–223, 2020. https://doi.org/10.1002/ps.6010.

SANTAROSA, E.; PINTO JÚNIOR, J. E.; GOULART, I. C. G. R.; PENTEADO JÚNIOR, J. F. Importância sócioeconômica e principais usos do eucalipto. In: SANTAROSA, E.; PENTEADO JÚNIOR, J. F; GOULART, I. C. G. R. **Cultivo de eucalipto em propriedades rurais**: diversificação da produção e renda. Brasília, DF: Embrapa, p. 13-22, 2014.

SANTOS, G. P.; ZANUNCIO, J. C.; ZANUNCIO, T. V.; PIRES, E. M. Pragas do eucalipto. **Informe Agropecuário**, v. 29, n. 242, p. 47–70, 2008.

SANTOS, M. C.; TEODORO, A. V.; MENEZES, M. S.; PINTO-ZEVALLOS, D. M.; ARRIGONI-BLANK, M. F.; OLIVEIRA, E. M. C.; SAMPAIO, T. S.; FARIAS, A. P.; COELHO, C. R.; BLANK, A. F. Bioactivity of essential oil from *Lippia gracilis* Schauer against two major coconut pest mites and toxicity to a non-target predator. **Crop Protection**, v. 125, 2019. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104913.

SANTOS, M. F.; SILVA, P. R. R.; AMARANES, M. P.; FERRAZ, J. C. B.; BRIOZO, M. E. O.; FRANÇA, M. S. Bioeficácia de produtos à base de nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) no manejo de *Oligonychus punicae* (Acari: Tetranychidae) em eucalipto. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 2, 2022. https://doi.org/10.5902/1980509855272.

SARMA, N.; BEGUM, T.; PANDEY, S. K.; GOGOI, R.; MUNDA, S.; LAL, M. Chemical composition of *Syzygium cumini* (L.) skeels leaf essential oil with respect to its uses from north east region of India. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 23, n. 3, p. 601–607, 2020. https://doi.org/10.1080/0972060X.2020.1796822.

SAS Institute. User'sguide, version 8.02, TS level 2MO. SAS Institute Inc., Cary, NC. 2001.

SEGOVIA, C. P.; CABRERA, C. C.; SILOS-ESPINO, H.; MURAIRA, I. G.E L.; SALCEDO, M. M.; MUNGUIA, A. M. G. **Evaluación de extractos etanólicos de plantas silvestres sobre *Oligonychus punicae* Hirst y *Oligonychus perseae* Tuttle, Baker y Abbatiello, 1976 (Trombidiformes: Tetranychidae), en el cultivo de aguacate en México**. Atena Editora, 2022.

SHARMA, A.; SINGH, H. P.; BATISH, D. R.; KOHLI, R. K. Chemical profiling, cytotoxicity and phytotoxicity of foliar volatiles of *Hyptis suaveolens.* **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 171, p. 863-870, 2019. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.091.

SHLOSMAN, K.; REIN, D.M.; SHEMESH, R.; KOIFMAN, N.; CASPI, A.; COHEN, Y. Encapsulation of thymol and eugenol essential oils using unmodified cellulose: Preparation and characterization. **Polymers**, v. 15, n. 1, p. 95, 2023. https://doi.org/10.3390/polym15010095.

SIANI, A. C.; SOUZA, M. C.; HENRIQUES, M. G.; RAMOS, M. F. Anti-inflammatory activity of essential oils from *Syzygium cumini* and *Psidium guajava*. **Pharmaceutical Biology**, v. 51, n. 7, p. 881–887, 2013. https://doi.org/10.3109/13880209.2013.768675.

SILVA, G. N.; FARONI, L. R. A.; SOUSA, A. H.; FREITAS, R. S. Bioactivity of *Jatropha curcas* L. to insect pests of stored products. **Journal of Stored Products Research**, v. 48, p. 111-113, 2012.

SILVA, R. B. G.; SIMÕES, D.; SILVA, C. R. R.; DELGADO, L. G. M.; SANTOS, R. L.; MUNIS, R. A. Produção de mudas clonais de *Eucalyptus* em viveiros florestais. In: SILVA, M. C. A. C. (Org.). **Tópicos especiais sobre a cultura do eucalipto**. Bauru: SP, Spessotto, 2022.

SOARES, M. A. S.; PENHA, T. A.; ARAÚJO, S. A.; CRUZ, E. M. O.; BLANK, A. F.; COSTA-JUNIOR, L. M. Assessment of different *Lippia sidoides* genotypes regarding their acaricidal activity against *Rhipicephalus* (Boophilus) *microplus*. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 25, n. 4, p. 401-406, 2016. http://dx.doi.org/10.1590/s1984-29612016087.

SOUZA, L. P.; ZUIM, V.; STINGUEL, P.; PINHEIRO, P. F.; ZAGO, H. B. Toxicity of essential oil of *Mentha piperita* (Lamiaceae) and its monoterpenoid menthol against *Tetranychus urticae* Kogan 1836 (Acari: Tetranychidae). **Crop Science**, 2022. https://doi.org/10.1590/0001-3765202220200427.

SPOCHACZ, M.; CHOWANSKI, S.; WALKOWIAK-NOWICKA, K.; SZYMCZAK, M.; ADAMSKI, Z. Plant-derived substances used against beetles–pests of stored crops and food–and their mode of action: a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 5, p.1339-1366, 2018. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12377.

STARK, J. D.; BANKS, J. E. Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. **Annual Review of Entomology**, v. 48, p. 505–519, 2003. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.48.091801.112621.

SUSURLUK, S. Potential use of essential oils from *Origanum vulgare* and *Syzygium aromaticum* to control *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) on two host plant species. **PeerJ**, v. 11, 2023. https://doi.org/10.7717/peerj.14475.

TANG, G.; LIU, X.; GONG, X.; LIN, X.; LAI, X.; WANG, D.; SHENGGUO, J. Studies on the chemical compositions of *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. Journal of the Serbian **Chemical Society**, v. 84, n. 3, p. 245–252, 2019. https://doi.org/10.2298/JSC171208078T.

TONGNUANCHAN, P.; BENJAKUL, S. Essential oils: extraction, bioactivities, and their uses for food preservation. **Journal of Food Science**, v. 79, n. 7, p. R1231-R1249, 2014.

TORRES, E.; ÁLVAREZ-ACOSTA, C.; FERRAGUT, F.; HERNÁNDEZ-SUÁREZ, E. M. *Oligonychus perseae* (Tetranychidae) invasion in the Canary Islands: History, management and current situation. **Agronomy**, v. 14, n. 5, p. 920, 2024. https://doi.org/10.3390/agronomy14050920.

VALAREZO, E.; TORRES-TORRES, S.; PINEDA-GUARNIZO, N.; JARAMILLO-FIERRO, X.; CARTUCHE, L.; MOROCHO, V.; MENESES, M. A. Study of essential oil isolated from achiote (*Bixa orellana*) leaves: chemical composition, enantiomeric distribution and antimicrobial, antioxidant and anticholinesterase activities. **Antibiotics**, v. 12, n. 4, p. 710, 2023. https://doi.org/10.3390/antibiotics12040710.

VAN, H. T.; THANG, T. D.; LUU, T. N.; DOAN, V. D. An overview of the chemical composition and biological activities of essential oils from *Alpinia genus* (Zingiberaceae). **Royal Society of Chemistry Advances**, v. 11, n. 60, p. 37767-37783, 2021. https://doi.org/10.1039/d1ra07370b.

VASCONCELOS, G. J. N.; SOUSA2, A. L. B.; SOARES, I. K. E.; FERREIRA, F. M. Two new occurrences of *Oligonychus* (Acari: Thrombidiformes: Tetranychidae) in *Coffea canephora* Pierre ex. Froehner, with description of damage and record of its natural enemies in the state of Amazonas, Brazil. **EntomoBrasilis**, v. 15, 2022. https://doi.org/10.12741/ebrasilis.v15.e987.

VÁSQUEZ, C.; APONTE, O.; MORALES, J.; SANABRIA, M.; GARCÍA, G. Biological studies of *Oligonychus punicae* (Acari: Tetranychidae) on grapevine cultivars. **Experimental and Applied Acarology**, v. 45, p. 59–69, 2008. https://doi.org/10.1007/s10493-008-9154-x.

VICTÓRIO, C.; RIEHL, C.; LAGE, C. Simultaneous distillation-extraction, hydrodistillation and static headspace methods for the analysis of volatile secondary metabolites of *Alpinia zerumbet* (Pers.) Burtt et Smith. from southeast Brazil. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 12, p. 137 – 143, 2009. https://doi.org/10.1080/0972060X.2009.10643703.

VILAR, D. A.; VILAR, M. S. A.; MOURA, T. F. A. L.; RAFFIN, F. N.; OLIVEIRA, M. R.; FRANCO, C. F. O.; ATHAYDE-FILHO, P. F.; DINIZ, M. F. F. M.; BARBOSA-FILHO, J. M. Traditional uses, chemical constituents, and biological activities of *Bixa orellana* L.: A review. **The Scientific World Journal**, v. 2014, n. 1, 2014. http://dx.doi.org/10.1155/2014/857292.

WALTHAL, W. K.; STARK, J. D. Comparison of two population-level ecotoxicological endpoints: the intrinsic (rm) and instantaneous (ri) rates of increase. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 16, p. 1068-1073, 1997.

WU, K.; HOY, M. A. The glutathione-S-transferase, cytochrome P450 and carboxyl/cholinesterase gene superfamilies in predatory mite *Metaseiulus occidentalis*. **PLoS ONE**, v. 11, n. 7, 2016. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160009.

YEO, S. K.; ALI, A. Y.; HAYWARD, O. A.; TURNHAM, D.; JACKSON, T.; BOWEN, I. D.; CLARKSON, R. β-Bisabolene, a sesquiterpene from the essential oil extract of opoponax (*Commiphora guidottii*), exhibits cytotoxicity in breast cancer cell lines. **Phytotherapy Research**, v. 30, n. 3, p. 418-25. https://doi.org/10.1002/ptr.5543.

ZHOU, S.; WEI, C.; ZHANG, C.; HAN, C.; KUCHKAROVA, N.; SHAO, H. Chemical composition, phytotoxic, antimicrobial and insecticidal activity of the essential oils of *Dracocephalum integrifolium*. **Toxins**, v. 11, n. 10, p. 598, 2019. https://doi.org/10.3390/toxins11100598.

ZHU, Y.; WU, T.; HU, Q.; HE, W.; ZHENG, Y.; XIE, Y.; RAO, Q.; LIU, X. Plant essential oils: Dual action of toxicity and egg-laying inhibition on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae), unveiling their potential as botanical pesticides. **Plants**, v. 13, n. 6, p. 763, 2024. https://doi.org/10.3390/plants13060763.

ZHU, Y.; WU, T.; XIE, Y.; WU, Y.; DENG, J.; CAO, L.; ZHANG, Z.; RAO, Q. Screening of the acaricidal activity of assential oils against *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae). **Agronomy**, v. 13, n. 2, p. 397, 2023. https://doi.org/10.3390/agronomy13020397.