



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

FERNANDA MARIA AMORIM DOS SANTOS

**COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ATIVIDADE INSETICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL DAS
FOLHAS DE ALGRIZEA MINOR FARIA, SOBRAL & PROENÇA CONTRA AEDES
AEGYPTI, SITOPHILUS ZEAMAI E NASUTITERMES CORNIGER**

Recife
2025

FERNANDA MARIA AMORIM DOS SANTOS

**COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ATIVIDADE INSETICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL DAS
FOLHAS DE ALGRIZEA MINOR FARIA, SOBRAL & PROENÇA CONTRA AEDES
AEGYPTI, SITOPHILUS ZEAMAI E NASUTITERMES CORNIGER**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas. Área de concentração: Meio Ambiente.

Orientadora: Prof^a. Dra. Márcia Vanusa da Silva

Coorientador: Prof^o. Dr. Thiago Henrique Napoleão e Dr. João Victor de Oliveira

Recife
2025

Catálogo de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Santos, Fernanda Maria Amorim Dos.

Composição química e atividade inseticida do óleo essencial das folhas de algrizea minor faria, sobral & proença contra aedes aegypti, sitophilus zeamais e nasutitermes corniger / Fernanda Maria Amorim Dos Santos. - Recife, 2025.

76f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, 2025.

Orientação: Marcia Vanusa da Silva.

Coorientação: Thiago Henrique Napoleão.

Coorientação: João Victor de Oliveira Alves.

Inclui referências.

1. Caatinga; 2. Cupim; 3. Vetor; 4. Inseticida; 5. Gorgulho do milho. I. Silva, Marcia Vanusa da. II. Napoleão, Thiago Henrique. III. Alves, João Victor de Oliveira. IV. Título.

FERNANDA MARIA AMORIM DOS SANTOS

**COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ATIVIDADE INSETICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL DAS
FOLHAS DE ALGRIZEA MINOR FARIA, SOBRAL & PROENÇA CONTRA AEDES
AEGYPTI, SITOPHILUS ZEAMAI E NASUTITERMES CORNIGER**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas. Área de concentração: Meio Ambiente.

BANCA EXAMINADORA
Aprovada em: 12/03/2025

Profª. Dr. Thiago Henrique Napoleão (Coorientador). Examinador Interno
Universidade Federal de Pernambuco

Dr. Wêndeo Kennedy Costa. Examinador Interno
Universidade Federal de Pernambuco

Dr. Patryck Érmerson Monteiro dos Santos. Examinador Externo
Universidade Federal de Pernambuco

*À minha fé, aos meus avós que sempre
foram meu sustento e minha força. Aos
meus pais que são meu alicerce e meu
fundamento. À minha irmã que me
ilumina. Ao meu companheiro que me
inspira e me dá convicção. Aos que estão
ao meu lado e anseiam por mim,*

Dedico!

AGRADECIMENTOS

A Deus e a espiritualidade que me guia e me protege todos os dias. Obrigado pelos caminhos abertos e pelas oportunidades alcançadas.

Agradeço a minha família por acreditarem e sonharem comigo.

Agradeço ao meu companheiro Gabriel por ser meu suporte e minha estrutura.

A minha Orientadora Márcia Vanusa, que não só transmite conhecimento científico como também ensinamentos que irei levar pro resto da vida.

Aos meus co orientadores Thiago Henrique Napoleão que sempre me auxiliou quando precisei sem medir esforços, e a João Victor que é um exemplo de pesquisador e cientista.

Aos meus Amigos de Laboratório, sem vocês a trajetória não teria sido tão leve e prazerosa.

Ao Drº Patrick Emerson pela paciência, e foi fundamental para o desenvolvimento do meu projeto.

Ao Laboratório de Produtos Naturais que me dá abrigo desde a minha graduação, e é o grande criador de excelentes cientistas.

Ao laboratório de Bioquímica de Proteínas, Medicina Tropical e Farmacologia e Cancerologia Experimental pelo grande apoio a minha pesquisa. E a Universidade Federal de Pernambuco e todos os que fazem desta grande engrenagem.

A CAPES por acreditarem e incentivarem o avanço científico e tecnológico, com a concessão de bolsas viabilizando o desenvolvimento do projeto.

RESUMO

Insetos-praga como *Aedes aegypti*, *Sitophilus zeamais* e *Nasutitermes corniger* geram prejuízos econômicos e de saúde pública. Este trabalho determinou a composição química e a toxicidade do óleo essencial das folhas de *Algrizea minor* como agente inseticida. O óleo essencial de *Algrizea minor* foi obtido através de duas coletas em regiões de Caatinga, extraído por hidrodestilação e sua identificação e quantificação química por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa (GC-MS). O óleo foi testado quanto à atividade larvica, adultica e índice de oviposição contra o culicídeo *A. aegypti*. Também foi investigado quanto ao efeito na sobrevivência, ingestão e parâmetros nutricionais de insetos adultos de *S. zeamais*, além de sua atividade sobre o sistema colinérgico e digestivo sobre enzimas. A ação inseticida do OEAm foi avaliada da mesma forma contra soldados e operários de *N. corniger* pelas vias de contato, fumigação e ingestão. Os principais compostos identificados no óleo foram β -pineno (66,99%) e α -pineno (6,57%) para a coleta realizada em período chuvoso com rendimento de 0,57%, e β -eudesmol (20,93%) e α -eudesmol (19,08%) para a coleta realizada no período de seca, com um rendimento superior a coleta anterior de 2,67%. A variação do rendimento se dá por fatores bióticos e abióticos do ambiente, assim como período de coleta e estação do ano. O óleo obteve efeito larvica moderado (CL_{50} de $60,76 \pm 2,60$ ppm), atividade adultica com CL_{50} de $35,83 \pm 6,96$ ppm e oviposição com atividade entre 100 e 20 ppm frente aos mosquitos fêmeas de *Aedes aegypti*, respectivamente. O óleo também apresentou efeito deterrente em *S. zeamais*, além da inibição de atividades enzimáticas em tripsina, AChE, α -amilase em 100%, 20% e 81%, respectivamente. Foi demonstrado efeito tóxico frente às duas castas de *N. corniger*, na via por ingestão com CL_{50} de 6,51 ppm nas concentrações de 1, 2,5, 5 e 10 ppm. O estudo revela o inédito potencial do óleo essencial das folhas de *A. minor* para o manejo de insetos em experimentos no âmbito doméstico e de campo.

Palavras-chave: Caatinga. Cupim. Gorgulho do milho. Vetor. Inseticida.

ABSTRACT

Pest insects such as *Aedes aegypti*, *Sitophilus zeamais*, and *Nasutitermes corniger* cause economic and public health damage. This study determined the chemical composition and toxicity of the essential oil from *Algrizea minor* leaves as an insecticidal agent. The essential oil of *Algrizea minor* was obtained through two collections in Caatinga regions, extracted by hydrodistillation, and its chemical identification and quantification were performed using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The oil was tested for larvicidal, adulticidal, and oviposition deterrent activity against the mosquito *A. aegypti*. It was also investigated for its effects on the survival, ingestion, and nutritional parameters of adult *S. zeamais* insects, as well as its activity on the cholinergic and digestive enzyme systems. The insecticidal action of *A. minor* essential oil was similarly evaluated against soldier and worker *N. corniger* termites through contact, fumigation, and ingestion routes. The main compounds identified in the oil were β -pinene (66.99%) and α -pinene (6.57%) in the collection carried out during the rainy season, with a yield of 0.57%, and β -eudesmol (20.93%) and α -eudesmol (19.08%) in the collection performed during the dry season, with a higher yield than the previous collection, reaching 2.67%. The variation in yield is influenced by biotic and abiotic environmental factors, as well as the collection period and season of the year. The oil exhibited moderate larvicidal effect (LC_{50} of 60.76 ± 2.60 ppm), adulticidal activity (LC_{50} of 35.83 ± 6.96 ppm), and oviposition deterrent activity between 100 and 20 ppm against *Aedes aegypti* female mosquitoes. It also showed a deterrent effect on *S. zeamais*, in addition to inhibiting enzymatic activities of trypsin (100%), AChE (20%), and α -amylase (81%). A toxic effect was observed against both castes of *N. corniger* via ingestion, with an LC_{50} of 6.51 ppm at concentrations of 1, 2.5, 5, and 10 ppm. This study reveals the novel potential of *A. minor* essential oil for insect management in both domestic and field experiments.

Keywords: Caatinga. Termite. Maize weevil. Vector. Insecticide.

LISTA DE FIGURAS

Fundamentação teórica:

Figura 1- Representação de neurônios ilustrando as classes de inseticidas neurotóxicos	19
Figura 2 - Ciclo de vida do <i>Aedes aegypti</i>	21
Figura 3 - <i>Sitophilus zeamais</i> adulto, características morfológicas do dorso (A); Expansão da cápsula cefálica (B)	23
Figura 4- Várias castas de <i>N. corniger</i> : alado maduro (A); ninfa alada (B); soldado (C) e operário (D).	26
Figura 5 - Representação esquemática da biossíntese de metabólitos secundários nas plantas	30
Figura 6- <i>Algrizea minor</i> Faria, Sobral & Proença	34

Artigo 1:

Figura 1- Porcentagem de ovos para oviposição em concentrações de OEAm.....	44
Figura 2- Percentual de sobrevivência de fêmeas adultas de <i>A. aegypti</i> em diferentes concentrações de OEAm, durante cinco intervalos de observação.....	47

Artigo 2:

Figura 1- Parâmetros nutricionais de operários e soldados de <i>N. corniger</i> : TGB (A); TCR (B); ECAI (C)	64
---	----

LISTA DE TABELAS

Artigo 1:

Tabela 1- Composição química do OEAm41

Tabela 2- Atividade larvícida do OEAm contra larvas do mosquito *A. aegypti*43

Tabela 3- Índice de Atividade de Oviposição (IAO) para o OEAm contra fêmeas do inseto *A. aegypti*44

Tabela 4- Atividade aduítcida do OEAm contra adultos fêmeas de *A. aegypti*46

Artigo 2:

Tabela 1- Composição química do óleo essencial das folhas de *A. minor*61

Tabela 2- Efeito do OEAm sobre enzimas do sistema digestório e colinérgico do *S. zeamais*.62

LISTA DE ABREVIATURAS

OE - Óleos Essenciais
OEAm - Óleo Essencial de *Algrizea minor*
MIP - Manejo Integrado de Pragas
OC - Organoclorados
OP - Organofosforados
CA - Carbamatos
PI - Piretróides
NE - Neonicotinóide
POPs- Poluentes Orgânicos Persistentes
AChE - Acetilcolinesterase
nAChR - Receptores Nicotínicos de Acetilcolina
DENV - Vírus da Dengue
CHIKV - Vírus Chikungunya
ZIKV - Zika vírus
YFV - Vírus da Febre Amarela
MS - Ministério da Saúde
NaV - Canais de Sódio Dependentes de Voltagem
DXPS - via 1- deoxi-D-xilulose-5-fosfato
DMAPP - Dimetilalil Pirofosfato
OPAS - Organização Pan Americana de Saúde
IPA - Instituto Agrônomo de Pernambuco
GC-MS - Cromatografia Gasosa Acoplada a Espectrometria de Massa
ANOVA - Análise de Variância
IAO - Índice de Atividade de Oviposição
CL - Concentração Letal
CL50 – Concentração letal necessária para matar 50% dos insetos
CL90 – Concentração letal necessária para matar 90% dos insetos
IDA – índice de deterrência alimentar
TGB – Taxa de ganho relativo de biomassa
TCR – Taxa de consumo relativo
ECAI – Eficiência de conversão do alimento ingerido
BapNA – N-benzoil-DL-arginil-p-nitroanilida
DIC - Delineamento inteiramente casualizado
Avicel – Celulose microcristalina
DNS – Ácido 3,5-dinitrosalicílico
rpm – Rotações por minuto
ppm – Partes por Milhão
µL – Microlitro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo Geral.....	15
2.2 Objetivos Específicos.....	15
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1 Saúde pública e no manejo agrícola e urbano no Brasil.....	15
3.1.2 Controle químico convencional.....	16
3.2 Caracterização dos insetos alvos.....	19
3.2.1 Inseto transmissor de doenças: <i>Aedes aegypti</i>.....	19
3.2.2 Inseto-praga: <i>Sitophilus zeamais</i>.....	21
3.2.3 Inseto-praga: <i>Nasutitermes corniger</i>.....	24
3.3 Inseticidas naturais vegetais.....	26
3.4 Compostos naturais uma alternativa sustentável: Óleos essenciais.....	27
3.5 Família Myrtaceae.....	31
3.6 <i>Algrizea minor</i> Faria & Proença.....	32
4. RESULTADOS.....	34
5. CONCLUSÃO.....	67
6. REFERÊNCIAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

Os insetos pertencentes ao filo Arthropoda e à classe Insecta (Brusca, 2001), constituem o grupo mais diversificado de organismos eucarióticos da Terra, mesmo com estimativas de que 80% das espécies ainda não foram descobertas (Nigel E. Stork, 2018). Caracterizados por sua pequena dimensão e grande abundância, habitam diversos ecossistemas, tanto naturais quanto antrópicos, exercendo papéis ecológicos cruciais, como a ciclagem de nutrientes, polinização, dispersão de sementes, controle biológico e manutenção da fertilidade do solo. Apesar de sua importância, os insetos são vulneráveis a alterações climáticas e desequilíbrios ambientais, o que pode levar à introdução de espécies invasoras e ao surgimento de pragas agrícolas e vetores de doenças, impactando negativamente a agricultura e a saúde humana (Gullan et al., 2017; Scudder et al., 2018; Távora & França, 2021)

Determinadas espécies de insetos provocam impactos econômicos, como por exemplo a espécie *Nasutitermes corniger* Most., 1855 (Termitidae: Nasutitermitinae) conhecida popularmente como cupim, que é uma praga de área urbana e agrícola (Gazal et al., 2023), e *Sitophilus zeamais* Most., 1855 (Coleoptera: Curculionidae), o gorgulho do milho, popular por comprometer até 30% dos grãos armazenados (Amaral et al., 2022). Assim como há espécies que afetam a saúde humana, como o mosquito *Aedes aegypti* L., 1762 (Diptera: Culicidae) vetor responsável pela transmissão de arboviroses causadoras de várias doenças em escala mundial (Zara et al., 2016).

Devido aos impactos econômicos e na saúde do homem, fez-se necessário o manejo químico por meio de pesticidas sintéticos, como rotenona e a deltametrina, para controlar populações de insetos. Sendo, atualmente, a principal estratégia de controle utilizada no Brasil (Pimentel et al. 2020). Entretanto, o uso prolongado e excessivo desses produtos ao longo dos anos gerou e continua gerando impactos ambientais, como, a poluição do solo e de ecossistemas aquáticos, comprometendo a cadeia alimentar (El-Nahhal & El-Nahhal, 2021). Além disso, o uso indiscriminado tem favorecido o desenvolvimento de populações de insetos resistentes (Richardson et al., 2020).

Visando à redução de danos gerados pelo uso contínuo dos inseticidas convencionais, pesquisas relacionadas a alternativas de controle sustentáveis vêm sendo uma boa estratégia de manejo (Fines et al., 2024). Compostos naturais

derivados das plantas geram produtos biodegradáveis, de baixo teor residual e taxa reduzida de seleção de indivíduos resistentes (Ferreira, 2023).

Os óleos essenciais são compostos naturais resultantes do metabolismo secundário das plantas, caracterizando-se pela presença de diversas substâncias biologicamente ativas. Eles desempenham um papel fundamental na defesa vegetal, atuando como agentes de proteção contra predadores, atratores de polinizadores e inibidores da germinação de outras espécies (Santos et al., 2010). Por sua vez, esses compostos possuem diversas aplicações biológicas, incluindo atividade inseticida, antifúngica e antimicrobiana (Ribeiro et al., 2023; Marques et al., 2024).

O gênero *Algrizea* Proença & NicLugh, pertencente à família Myrtaceae, é endêmico do Nordeste brasileiro, com domínio fitogeográfico na Caatinga e Cerrado. Inicialmente catalogado no início do século XXI, ocorre em ambientes de grande altitude e apresenta forma de vida arbustiva (Proença et al., 2006). A família Myrtaceae, à qual pertence, destaca-se entre as famílias mais representativas em regiões tropicais e subtropicais do mundo, é amplamente explorada e valorizada por seus óleos essenciais, ricos e diversificados (Mendes et al., 2016). Na literatura, são registradas apenas duas espécies do gênero: *Algrizea minor* e *Algrizea macrochlamys*, ambas com poucos estudos realizados e atividades biológicas ainda pouco exploradas.

A espécie *Algrizea minor*, formalmente descrita como uma nova espécie em 2010 (Sobral et al., 2010), apresenta em seu óleo essencial em teor majoritário o composto β -pineno (Fernandes et al., 2024), um monoterpene amplamente estudado e associado a diversas atividades biológicas, incluindo ação inseticida (Rivas et al., 2012). Embora suas aplicações biológicas sejam pouco estudadas, seu óleo volátil está associado a propriedades como moluscicida, leishmanicida, bactericida (Silva, 2018) antidiabética (Soares et al., 2023), gastroprotetor (Fernandes et al., 2024), antinociceptiva, antimicrobiana e antioxidante (Veras et al., 2018).

Diante da perspectiva de ineditismo e de contribuição para o controle de insetos de importância médica e agrícola, o presente estudo teve como objetivo caracterizar quimicamente e investigar a atividade inseticida do óleo essencial das folhas de *Algrizea minor* Faria & Proença contra *Aedes aegypti* (L., 1762) *Nasutitermes corniger* (Most, 1855) e *Sitophilus zeamais* (Most, 1855), avaliando seus efeitos em diferentes estágios de desenvolvimento e mecanismos de ação.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Determinar a composição química e investigar a atividade inseticida do óleo essencial das folhas de *Algrizea minor* Faria & Proença contra *Aedes aegypti* L., 1972, *Nasutitermes corniger* Most., 1855, e *Sitophilus zeamais* M Most., 1855.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Coletar, extrair e caracterizar quimicamente o óleo essencial das folhas de *A. minor* em diferentes condições ambientais;
- Avaliar a atividade larvicida, ovicida e adulticida do OEAm sobre *A. aegypti*;
- Analisar a toxicidade por ingestão e os efeitos do OEAm sobre as enzimas digestivas de *S. zeamais*;
- Avaliar a toxicidade por ingestão de *N. corniger* e parâmetros nutricionais, além de outras vias de ação como contato e fumigação.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 SAÚDE PÚBLICA E MANEJO AGRÍCOLA NO BRASIL

O crescimento populacional descontrolado, impulsionado por diversos fatores que intensificam o desequilíbrio ambiental, leva à destruição de habitats naturais, afetando a dinâmica populacional de plantas, fungos e insetos. Essa devastação da biodiversidade, somada à perda de inimigos naturais de pragas, como predadores e parasitoides, resulta em explosões populacionais de pragas que causam prejuízos econômicos e sociais, como a redução da produção agrícola, o aumento dos custos de controle de pragas, a disseminação de doenças e impactos negativos na saúde pública (Kudsk et al., 2018). Espécies de insetos são consideradas pragas quando comprometem as culturas agrícolas, competem por recursos alimentares ou atuam como vetores de doenças (Santos et al., 2024). O controle químico, por meio da aplicação de inseticidas sintéticos, é a principal estratégia utilizada para o manejo destes insetos.

O Brasil é o maior consumidor de pesticidas no mundo, apresentando índices elevados de risco à saúde humana e ao meio ambiente devido ao uso contínuo, intensivo e à falta de gestão preventiva dos riscos tecnológicos pela legislação

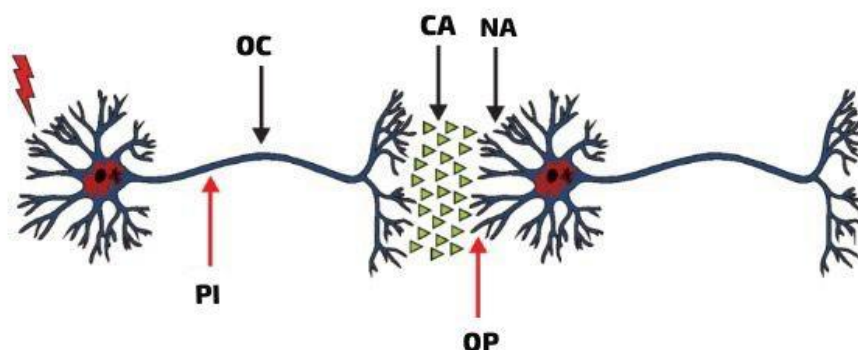
brasileira (Braga, 2020). Historicamente, observa-se que uma das principais razões para o uso excessivo dos produtos sintéticos no país está relacionada à sua visão econômica, sendo a tática de controle mais acessível e viável em termos de custos imediatos para a agricultura (Pimentel et al., 2020). Entretanto, os efeitos dos inseticidas, assim como a capacidade adaptativa e evolutiva dos organismos, que eram amplamente desconhecidos ou desprezados, além da legislação permissiva (Carvalho et al., 2017).

3.1.2 CONTROQUE QUÍMICO CONVENCIONAL

A estratégia convencional de controle de pragas, fundamentada na aplicação de inseticidas em diversas fases do ciclo de vida dos organismos-alvo, embora eficaz, tem demonstrado toxicidade ecossistêmica e potenciais riscos à saúde humana (Fiocruz, 2021). Este método, amplamente adotado na agricultura e saúde pública, consiste na aplicação de produtos químicos por meio de pulverizações, aplicações diretas ou indiretas (Garavazo et al., 2020). Em contraposição, o Manejo Integrado de Pragas (MIP) emerge como uma abordagem necessária e sustentável, integrando táticas de controle de naturezas química, biológica e genética, com o objetivo de manter as populações de pragas em níveis inferiores aos que causam danos econômicos. Neste contexto, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) exerce um papel regulador essencial, estabelecendo Limites Máximos de Resíduos (LMR) de pesticidas em alimentos, visando a proteção da saúde (Waguil et al., 2020).

Os principais grupos de inseticidas químicos são classificados com base na sua estrutura química em Organoclorados (OC), Organofosforados (OP), Carbamatos (CA), Piretróides (PI) e Neonicotinóides (NE) (Bezerra et al., 2023). Esses são compostos sintéticos que exercem ação predominantemente no sistema nervoso, induzindo neuroexcitação, tremor, paralisia e morte (Costa et al., 2022), no controle de pragas agrícolas e urbanas, no entanto, os efeitos não se limitam apenas aos invertebrados, pois os mecanismos moleculares alvos destes compostos são conservados em vertebrados, incluindo humanos (Casida & Durkin, 2013) (Figura 1).

Figura 1: Representação estruturada de dois neurônios, ilustrando as classes de inseticidas neurotóxicos que interferem na transmissão axônica (OC, PI) e na transmissão sináptica (CA, OP, NE).



Fonte: Valle et al., Dengue: teorias e práticas. Fiocruz, 2015. Adaptado.

Os OC pertencem à classe de Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), derivados de hidrocarbonetos clorados, foram os primeiros inseticidas sintéticos a serem desenvolvidos, apesar de serem produzidos com o intuito de toxicidade ao organismo alvo, espécies não-alvo são gravemente afetadas pela sua aplicação (Jayaraj et al., 2016). Os OC e os PI atuam na desregulação do equilíbrio dos canais iônicos nas células nervosas, causando um fluxo descontrolado de íons e superexcitação dos neurônios. Além da sua alta persistência no meio ambiente e capacidade de bioacumulação, estão também relacionados com o desenvolvimento de doenças como Parkinson e Alzheimer (Santos et al., 2024). O seu uso foi proibido no ano de 1982 (OC), mas não totalmente abandonado na prática (Carvalho et al., 2017).

Os piretróides (PI), muito utilizados como higienizante, desinfetante domiciliar e em programas de saúde pública no combate de insetos vetores de doenças, tiveram impacto significativo por um curto período de tempo, e logo exibiram indícios de resistência, facilitado certamente, pela disseminação do uso doméstico desta classe química (Valle et al., 2015). Os PI interferem nos canais de sódio dependentes de voltagem e canais de íons de cloreto, onde bloqueiam as funções inibitórias dos insetos, resultando em convulsões e morte (Zulfa et al., 2022).

Compostos orgânicos como OP e CA atuam com efeito inibitório da enzima acetilcolinesterase (AChE) (Rosado-Solano et al. 2019) alterando a transmissão sináptica, e consequentemente, na comunicação celular que forma a rede sináptica do sistema nervoso. Os inseticidas CA bloqueiam temporariamente a enzima AChE, ligando-se a uma região específica chamada sítio esterático, essa ligação é feita de maneira reversível, ou seja, com o tempo a interação é desfeita e conseguem

restaurar a comunicação, já os OP agem de forma mais agressiva e permanente, formando uma ligação covalente altamente estável com a enzima, impedindo sua função de maneira irreversível, fazendo com que a enzima se acumule na fenda sináptica, causando interrupção dos sinais nervosos, como paralisia (Lee & Barron, 2015).

Já os Neonicotinóides são mais recentes e atuam com os receptores Nicotínicos de Acetilcolina (nAChR), mediando uma toxicidade altamente seletiva para insetos, já que são uma alternativa de controle para os organismos que desenvolveram resistência a OP, CA e PI convencionais (Costa et al., 2022).

A resistência a inseticidas pode ser dividida em quatro mecanismos principais: (1) resistência metabólica caracterizada por altos níveis e atividades de enzimas (esterases, monooxigenases e glutathione S-transferases) que degradam o agente inseticida antes mesmo de ser tóxico; (2) resistência por alteração do sítio alvo, associadas a mutações do gene *kdr*, resultando em modificações estruturais nos receptores dos inseticidas, reduzindo sua afinidade; (3) resistência pela redução da penetração dos compostos, onde alterações nas cutículas dos insetos dificultam a absorção e penetração e (4) resistência comportamental, referida pelo comportamento de evitação (Zulf, 2022; Liu, 2015).

O desenvolvimento de resistência a inseticidas sintéticos por parte de populações de pragas e vetores constitui um desafio crescente em escala global. A pressão seletiva exercida pelo uso indiscriminado de pesticidas favorece a evolução de mecanismos de resistência, comprometendo a eficácia de programas de controle e reforçando a implementação de estratégias de manejo mais sustentáveis e integradas (Neto, 2016).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS INSETOS ALVOS

3.2.1 INSETO-PRAGA TRANSMISSOR DE DOENÇAS: *Aedes aegypti* L.

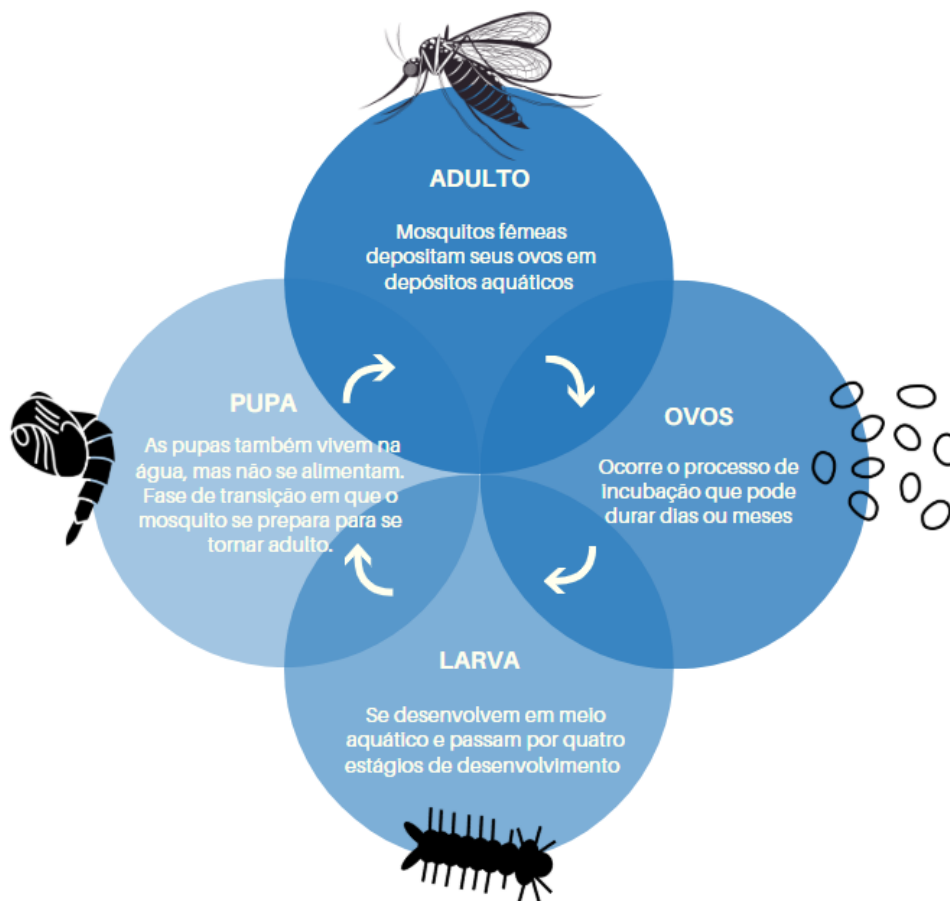
Aedes aegypti pertencente à família Culicidae, é uma espécie de origem africana que provavelmente se dispersou globalmente durante o período colonial. Atualmente, encontra-se amplamente distribuído em todos os continentes, com exceção da Antártida, possuindo uma grande capacidade de dispersão e adaptação ao meio, que se dá devido ao longo período de dessecação dos ovos. Além de serem

encontrados em áreas urbanas, suburbanas e rurais durante todo período seu ciclo de vida (Ribeiro & Laporta 2023);

O ciclo de vida deste culicídeo compreende quatro fases, desde os estágios de ovo, larva, pupa, e até o adulto, caracterizando um desenvolvimento holometábolo. Em condições ambientais favoráveis, o ciclo completo pode ser concluído em aproximadamente 7 a 10 dias. Após a oviposição em superfícies próximas a lâminas de água, os ovos tornam-se viáveis em até 48 horas, na ausência de água podem permanecer em estado de quiescência por períodos superiores a um ano na ausência de água. As larvas altamente aquáticas, passam por quatro instares (L1, L2, L3 e L4), se alimentam de partículas orgânicas presentes na água, antes de se transformarem em pupas, fase na qual ocorre a reorganização morfológica para a fase adulta, etapa de transição entre o ambiente aquático e o terrestre (Silvério; Ribeiro; Zettel, 2020).

Os mosquitos adultos, caracterizados por listras brancas quando maduros, emergem da pupa com dimorfismo sexual evidente, onde há diferença no tamanho corporal, antenas e aparelho bucal. As fêmeas apresentam medidas maiores em comparação aos machos, além de antenas com pilosidade, enquanto os machos possuem antenas plumosas (Ribeiro, 2020). O aparelho bucal das fêmeas é adaptado para hematofagia, visto que é essencial para o desenvolvimento e maturação dos ovos, enquanto o dos machos é especializado para alimentação de néctar (Zettel, et al., 2020). O seu ciclo de vida é influenciado conforme a temperatura do ambiente, já que *A. aegypti* não consegue regular sua temperatura interna, além da disponibilidade de alimento (Terrazas et al., 2020). (Figura 2)

Figura 2: Ciclo de vida do *Aedes aegypti*.



Fonte: Autor.

Os mosquitos *A. aegypti* desempenham papéis importantes em vários surtos de arboviroses ao longo do último século. São transmissores dos vírus que causam dengue (DENV) possuindo 4 sorotipos, chikungunya (CHIKV), zika (ZIKV) e febre amarela (YFV) os quais tornaram-se questões críticas globalmente, especialmente em regiões tropicais e subtropicais, no sudeste Asiático e América Latina (Zulfa et al., 2022). Para o Brasil, consiste em uma importante ameaça à saúde pública, registrando cerca de 6 milhões de casos prováveis de dengue apenas no primeiro semestre do ano de 2024 e superando valores máximos históricos no número de óbitos, segundo o Boletim Epidemiológico (2024) publicado pela Secretaria de Vigilância em Saúde e Meio Ambiente do Ministério da Saúde. A alta aptidão de dispersão, adaptação e ciclo de vida curto reforçam sua importância epidemiológica e os desafios para seu controle.

A trajetória do controle vetorial do *A. aegypti* no Brasil é marcada por estratégias variadas ao longo do tempo. Inicialmente, campanhas de eliminação de

criadouros e o uso de inseticidas organoclorados foram eficazes na erradicação do vetor em algumas regiões. No entanto, a resistência dos insetos e a interrupção de programas educacionais e domésticos levaram ao ressurgimento do mosquito e ao aparecimento de doenças reemergentes como a dengue (Valle et al., 2015). O uso de inseticidas sintéticos altamente tóxicos como OC, PI, CA, têm sido historicamente utilizados, atuando principalmente sobre as larvas de *A. aegypti*. Os PI para o controle de adultos, mais recentemente, desenvolvidos os NA, no entanto, ainda apresentam impactos toxicológicos e danos ambientais (Silvério et al., 2020).

O monitoramento da susceptibilidade a produtos químicos contra populações de *A. aegypti* vem sendo realizado pelo MS. Pesquisas indicam mutações knockdown resistance (kdr), que são mutações no gene do canal de sódio dependente de voltagem (NaV), alterando a estrutura da proteína alvo dos PI e OC, impedindo a ação inseticida e conferindo resistência ao mosquito. Além disso, também foram registrados alterações na atividade de enzimas relacionadas a resistência metabólica como glutatona e esterases dos insetos (Hayd et al., 2020)

O controle deste vetor ainda é essencial para a prevenção de doenças tropicais negligenciadas. Mesmo com o grande avanço do estabelecimento da vacina contra a dengue, o país continua utilizando muitas metodologias estabelecidas no início do século passado, apesar de existirem novas possibilidades de controle. A compreensão dessa linha do tempo é fundamental para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes e sustentáveis.

3.2.2 INSETO-PRAGA: *Sitophilus zeamais*

O *Sitophilus zeamais* Most., 1855 (Coleoptera: Curculionidae) ou o gorgulho/caruncho do milho, é a principal praga de grãos e cereais em regiões tropicais e subtropicais do mundo, responsáveis por danos e desvalorização de lotes, especialmente do milho (Peschiutta et al., 2022). No entanto, o inseto também pode atacar culturas de arroz, trigo, sorgo, cevada, aveia, frutas como ameixa, maçã, uva, e até produtos processados como macarrão, farinhas e cereais (Ojo & Omoloye 2016; Goñi, 2017; Santaella, 2010; Botton, 2005). A capacidade de perfurar grãos íntegros, comprometendo sua integridade e densidade, caracteriza esses insetos como pragas primárias, com danos causados tanto por adultos quanto por larvas (Pimentel, 2020).

Os coleópteros apresentam dimensões que variam entre 2,0 e 3,5 mm, com coloração castanho-escuro, sendo a principal característica a expansão da região cefálica, onde nos machos é mais curto e grosso, e nas fêmeas mais longo e afilado (Pimentel, 2020) (Figura 3). As larvas são de coloração amarelo-claro, do tipo curculioniforme, possuem quatro instares de desenvolvimento, a cabeça de cor marrom-escuro e as pupas brancas (Lorini, et al., 2015).

Sitophilus zeamais demonstra um elevado potencial reprodutivo, com ciclo de vida curto e alta fecundidade. As fêmeas depositam os ovos diretamente no interior dos grãos de milho, onde as larvas se desenvolvem, avançam para o estágio de pupa e emergem como adultos. O ciclo biológico completo, desde a oviposição até a emergência do adulto, pode ser concluído em aproximadamente 34 dias, sendo que a longevidade das fêmeas pode alcançar 140 dias e uma média de 282 ovos por fêmea (Botton et al, 2005).

Figura 3: Dorso castanho-escuro, possuindo quatro manchas avermelhadas nos élitros (A); Expansão da cápsula cefálica variada entre macho e fêmea (B).





Fonte: Gary Alpert, Universidade de Harvard, Bugwood.org, 2009.

A infestação de produtos armazenados por insetos resulta em perdas significativas tanto em termos quantitativos, como a redução de peso dos grãos que pode chegar a 90% no caso do milho, quanto qualitativos, comprometendo o valor nutricional dos alimentos (Muzemu, et al., 2013). A magnitude desses danos é influenciada por diversos fatores, incluindo as características do ambiente de armazenamento e as propriedades intrínsecas dos produtos (Ojo & Omoloye, 2016). A compreensão desses mecanismos é crucial para o desenvolvimento de medidas de controle eficientes e a garantia da segurança alimentar nos trópicos.

O manejo do gorgulho do milho depende historicamente do emprego de inseticidas sintéticos, como NE, CA, PI, OC. Dentre os OC, destaca-se a fosfina, operada pelo método tradicional utilizado de fumigação pós colheita, como um tratamento mais seguro para alimentos e livre de resíduos em grãos armazenados (Nayak, et al., 2015), entretanto, levou ao desenvolvimento de resistência do *S. zeamais*, um fenômeno comum em pragas expostas a inseticidas sintéticos por longos períodos (Wakil et al., 2021).

Apesar do impacto nas culturas alimentares, o gorgulho apresenta nichos tróficos diferentes e amplas funções ecológicas em seus ecossistemas naturais (Astrid, 2018). É importante a utilização de inseticidas mais seletivos aos inimigos naturais, evitando compostos de amplo espectro e danos residuais.

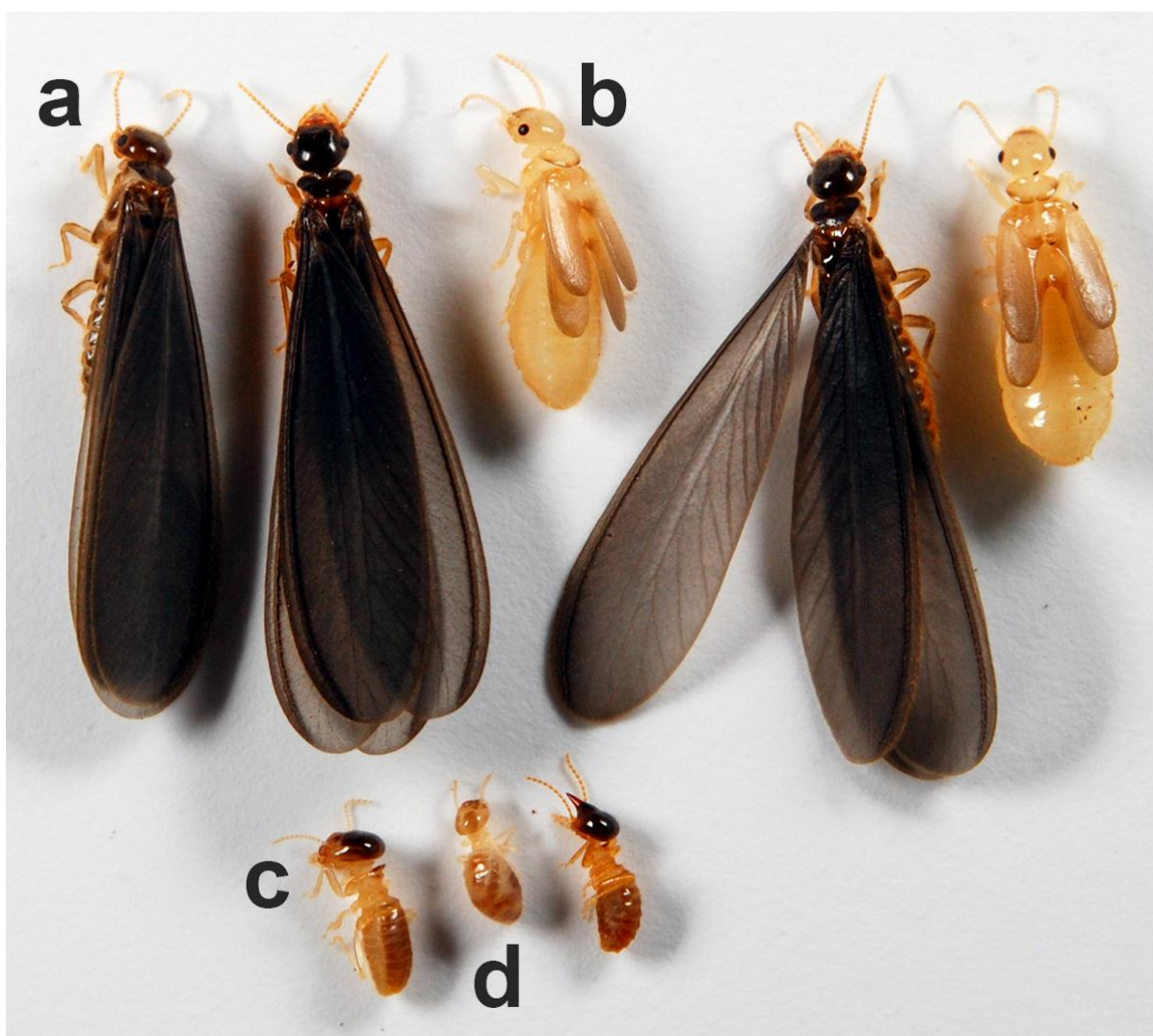
3.2.3 INSETO-PRAGA: *Nasutitermes corniger*

Dentro da grande e altamente diversificada família Termitidae, a subfamília Nasutitermitidae são grandes e diversos parafileticos. A espécie de *N. corniger* (Isoptera: Nasutitermitidae) é amplamente distribuída pelos trópicos, com alta adaptabilidade e é popularmente conhecida como cupins ou térmitas, considerados uma espécie importante de praga em grande parte da sua distribuição (Hartke, 2010).

Nasutitermes corniger constroem ninhos arbóreos (sobre ou dentro de árvores), hipógeos (sob o solo) e epígeos (parte subterrânea e parte acima da superfície). Com estruturas simples ou complexas, elipsoidais e construídas a partir de madeira e fezes (Ferreira et al, 2011), vivem em grandes colônias compostas por indivíduos independentes entre si, na qual há sobreposição de gerações. A estrutura desse arranjo é composta por operários, soldados e imagos (rainha, rei, alados), apenas estes últimos são responsáveis pela casta reprodutiva (Antunes et al., 2016)

A organização social de *Nasutitermes* é caracterizada por uma divisão de trabalho entre castas. Os operários são responsáveis por atividades como forrageamento, construção e manutenção do ninho cuidado com prole e defesa. Apresentam dimorfismo sexual com fêmeas maiores que os machos, característica comum do gênero. Os soldados, a casta defensiva, constituem uma parcela significativa da colônia, de 5 a 20% da população total, protege a colônia por métodos físicos e químicos por meio dos nasus proeminentes na parte frontal da cabeça, e participa também da organização do forrageamento. Ambas as castas estéreis são ápteras e fotofóbicas (Boulogne et al., 2017; Gazal et al., 2012; Verma et al., 2009; Lima et al., 2013) (Figura 4).

Figura 4: Várias castas com diferentes morfologias associadas à especialização de tarefas: alado maduro (A); ninfa alada (B); soldado (C) e operário (D).



Fonte: Thorne B., CABI Digital Library, 2024.

O ciclo reprodutivo do *N. corniger* se dá pelas colônias maduras, que após eventos ambientais como a chuva, liberam inúmeros aladados, responsáveis pela dispersão e formação de novas colônias (Boulogne et al., 2017). O casal real formado, busca locais úmidos com comida e madeira para a constituição de um novo ninho, a rainha realiza a oviposição de aproximadamente 3.000 ovos por dia, que passam por um período de incubação de 50 a 60 dias até eclodirem como ninfa, garantindo o crescimento contínuo da colônia (Scheffrahn et al., 2005).

Colônias jovens camufladas, uma dieta ampla e uma reprodução rápida estão entre as características que o tornam um importante invasor de ecossistemas nativos ou de ambientes urbanizados, onde consomem madeira viva ou morta, arbustos, gramíneas, estruturas móveis, barcos e papéis, sendo uma relevante praga agrícola, principalmente atacando culturas de frutas, palmeiras e cultivos de cana de açúcar

(Thorne, 2024). Geram impactos ecológicos significativos acarretando mudanças no fluxo de serviços ecossistêmicos e impactos econômicos consideráveis.

O controle químico dos cupins envolve o uso de diversas classes de compostos sintéticos como os PI, CA, OP, e NA (Pontual et al., 2024). Apresentam diferentes estratégias de aplicações podendo ser aplicados no solo, na madeira ou por fumigação antes ou depois da infestação, como a fosfina (Boulogne et al., 2017; Paiva et al., 201), podendo eventualmente serem derrotados em sua eficiência pela resistência progressiva dos insetos como o desenvolvimento de mecanismos de desintoxicação metabólica e proteínas cuticulares já relatados em pragas urbanas e agrícolas sendo um das principais estratégias contra PI (Zhu et al., 2013).

Estudos indicam que os custos associados à prevenção, controle e reparo de danos causados por cupins têm aumentado ao longo das décadas, atingindo montantes milionários, ressaltando a necessidade de estratégias de manejo mais eficientes e a importância de estudos para estimar perdas e custos potenciais de novas pragas (Alvarez, 2016).

3.3 INSETICIDAS NATURAIS VEGETAIS

Os inseticidas naturais de origem vegetal, utilizados há milênios, tiveram sua utilização gradativamente reduzida com o surgimento dos inseticidas químicos sintéticos. Uma das espécies pioneiras de plantas a serem comercialmente bem sucedidas em escala global como inseticidas botânicos foi a *Tanacetum cinerariifolium* (Asteraceae), da qual surgiu a “pyrethrin” ou “piretrina” obtida das flores secas, utilizado no domínio doméstico como casa e jardim, no controle estrutural de pragas e na saúde pública (Isman, 2020).

Os inseticidas de origem vegetal utilizam metabólitos produzidos pelas plantas como mecanismo de defesa contra herbívoros e patógenos. Essas substâncias químicas fazem parte do metabolismo vegetal, podendo ser oriundos do metabólitos primários, essenciais para o crescimento e desenvolvimento (como carboidratos, lipídios, proteínas e ácidos nucleicos ou metabólitos secundários), fundamentais para sua interação com o ambiente, no qual estão incluídas classes de compostos como alcaloides, flavonoides e terpenos, que apresentam atividades biológicas interessantes (Jain et al., 2019). Estes compostos podem ser extraídos de diversos tecidos vegetais, podendo ser utilizados como pó, extratos ou óleos essenciais. Seus

produtos apresentam uma diversidade de formulações como gasosas, líquidas, em gel e sólidas, que são adaptadas de acordo com as rotas de entrada específicas do corpo de cada inseto (para agir de forma mais ativa no local alvo fisiologicamente sensível) e com as condições ambientais (Stejskal et al., 2021).

Os bioinseticidas contêm uma variedade de compostos bioativos que atuam de forma sinérgica, dificultando o desenvolvimento de resistência nos insetos. Ao contrário dos inseticidas sintéticos, que possuem um único princípio ativo, os inseticidas vegetais possuem múltiplos metabólitos. Essa complexidade química reduz a probabilidade de adaptação dos alvos, uma vez que a atuação simultânea de diferentes mecanismos de toxicidade exige múltiplas mutações para a sobrevivência dos insetos, tornando o desenvolvimento de resistência um processo evolutivo mais lento e menos eficiente (Neto, 2016; Brito et al., 2020). A ação desses compostos pode desencadear uma variedade de efeitos tóxicos nos insetos, desde a indução de mortalidade em diferentes estágios de desenvolvimento, até modificações no comportamento incluindo efeitos sobre a reprodução, alimentação, repelência, inibição de oviposição e danos ao sistema hormonal (Stejskal; Lima; Brito 2021, Silvério, 2020).

3.4 COMPOSTOS NATURAIS UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL: ÓLEOS ESSENCIAIS

Óleos essenciais (OEs) são utilizados desde a antiguidade, no entanto, apenas no século XIX seu uso teve maior ampliação com a expansão e divulgação de estudos exploratórios (Brito, 2013; Carpena, 2021). Os OE são formados por uma mistura complexa de compostos voláteis, originados do metabolismo secundário, de plantas aromáticas, podendo conter mais de 200 diferentes compostos de classes químicas variadas (Aziz et al., 2018). Esses compostos de baixa massa molecular, estrutura complexa e pouca solubilidade em água, embora tenham seus perfis químicos relativamente estudados, são fortemente influenciados por variáveis ambientais, microclima e métodos de extração (Carpena et al., 2021).

Os metabólitos secundários podem ser obtidos de diferentes órgãos vegetais como das flores, folhas, sementes, cascas e raízes. Seu rendimento e sua composição dependem da composição do solo, órgão da planta, idade da planta, estágio do ciclo de desenvolvimento, do método e das condições de extração, genética, estresse

hídrico, aplicação de fertilizantes, período da colheita e condições de armazenamento. Esses metabólitos correspondem a uma fração bem concentrada e muito pequena da composição química total da planta, são armazenados em células epidérmicas, cavidades secretoras e células secretoras de tricomas glandulares das plantas (Costa 2022; Gonzalez 2021; Falleh, 2020).

Estes compostos naturais podem ser divididos em três grupos quimicamente distintos: terpenos, compostos fenólicos (fenilpropanoides e flavonoides) e compostos nitrogenados (alcalóides, glicosídeos, cianogênicos e glucosinolatos), (Anulika et al., 2016) . A biossíntese destes compostos biológicos não ocorre de forma isolada aos componentes primários, as plantas utilizam os produtos gerados em processos essenciais para produzir as moléculas mais complexas, a partir das rotas metabólicas interligadas, como a glicose, via do chiquimato, ciclo do ácido tricarboxílico e produção de aminoácidos aromáticos alifáticos. Os fenilpropanoides são formados a partir do ácido chiquímico, que auxilia na produção de compostos fenólicos, aldeídos e álcoois aromáticos, atribuindo heterogeneidade e grandeza química. Já os terpenoides são formados a partir da via do mevalonato e via 1- deoxi-D-xilulose-5-fosfato (DXPS), ambas vias convergem para a produção de IPP (isopentenil pirofosfato) e DMAPP (dimetilalil pirofosfato), que são os precursores comuns para a biossíntese de todos os terpenos, e a partir deles, podem sintetizar uma variedade de estruturas e funções terpênicas (Carvalho, 2023; Ribeiro, 2020; Luna, 2019; Silveira, 2018), conforme (Figura 5).

aquecimento, são mais utilizados, pois tem um custo mais baixo. Em contrapartida, as técnicas inovadoras, como a extração por fluido supercrítico, a extração assistida por ultrassom e a extração por micro-ondas, visam otimizar o processo, reduzindo o tempo, o uso de solventes e o consumo de energia, além de preservar a integridade da composição química dos óleos (Kant & Kumar, 2022). Sua composição química é geralmente caracterizada por dois ou três componentes principais, respondendo de 20 a 70%, enquanto os demais componentes estão presentes em menores proporções. Acredita-se que esses componentes majoritários desempenhem um papel crucial em suas variadas bioatividades (Bakkali et al., 2008).

O uso de OEs tem se expandido nas últimas décadas, devido ao interesse em suas propriedades biológicas e aplicações inovadoras. Estudos científicos têm demonstrado a bioatividade de OE contra diversas pragas agrícolas e vetores de doenças (Dukare et al., 2019). Eles representam uma alternativa promissora, especialmente na agricultura orgânica, onde a prioridade é a segurança humana e animal, e não apenas os custos e eficácia absoluta. Sua utilização pode mitigar o problema de pragas resistentes a pesticidas, além de prevenir os riscos à saúde associados ao acúmulo de resíduos destes produtos sintéticos (Fierascu et al., 2019).

A utilização de OE como inseticidas e repelentes oferece uma nova perspectiva para o desenvolvimento de produtos naturais, com relevância tanto para a agricultura quanto para a saúde pública. O potencial bioativo dos OE tem se mostrado promissor, frequentemente superando a eficácia dos inseticidas convencionais, mesmo em concentrações reduzidas. Segundo Fierascu et al. (2019) a forma de aplicação dos óleos em insetos influencia seu mecanismo de ação. Em aplicações de contato, a ação neurotóxica é um mecanismo provável, ao passo que em aplicações por fumigação, a ação dos monoterpenos no sistema respiratório é mais comum (Plata-Rueda, 2017; Mossa, 2016). A diversidade de mecanismos de ação contra seus alvos os tornam mais versáteis e seguros (Kumar et al., 2020). O mercado de inseticidas à base de óleo essencial, embora ainda em desenvolvimento, têm apresentado resultados promissores na América do Norte e Europa, com perspectivas de crescimento em outras regiões, especialmente na América Latina (Isman 2020).

3.5 Família Myrtaceae

Myrtaceae, uma das famílias de angiospermas de maior relevância, ocupa a oitava posição em número de espécies no mundo, compreendendo aproximadamente 140 gêneros e cerca de 6000 espécies. Sua distribuição abrange as regiões tropicais e subtropicais do globo, com centros de diversidade proeminentes na América do Sul (Saber, 2024; Lucas, 2019). No Brasil, a família é representada por 29 gêneros e mais de 1212 espécies, com ocorrência em todo o território nacional (Flora e Funga do Brasil, 2020). Seus representantes possuem diversidade de metabólitos bioativos, apresenta grande potencial para a biotecnologia, especialmente por meio de seus óleos essenciais. Estudos recentes indicam benefícios potenciais para a economia, meio ambiente e saúde (Amorim et al., 2024).

Descrito em 2006, o gênero *Algrizea* spp. (Myrtaceae) foi inicialmente identificado na Chapada da Diamantina, Bahia, Brasil, e posteriormente identificado em outras regiões do país, abrangendo os biomas Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica (Sobral et al., 2010). A individualização deste gênero, anteriormente classificado como *Psidium* L., deve-se a características morfológicas específicas como flores pentâmeras e ovário multiovulado (Proença et al., 2006).

Com o advento das técnicas moleculares na identificação de espécies, *Algrizea minor* pôde ser descrita pela primeira vez. Esta espécie se distingue das demais por apresentar folhas com pecíolos de 1 a 2 mm e lâminas de 8–19 × 4,5–12 mm, com 6–8 nervuras laterais pouco visíveis ou mesmo inconspícuas em ambas as faces; eixos principais das inflorescências medindo de 3 a 15 mm; botões florais com dimensões entre 2,2 e 3 mm; e embrião com pontos glandulares côncavos (Sobral et al., 2010). O gênero *Algrizea* compreende atualmente duas espécies: *Algrizea minor* e *Algrizea macrochlamys*, ambas com ocorrência em regiões de altitude, frequentemente associadas a afloramentos rochosos (Flora e Funga do Brasil, 2020).

3.6 *Algrizea minor* Faria & Proença

A. minor é uma espécie endêmica do Nordeste Brasileiro (família Myrtaceae; Ordem Myrtales). Seus espécimes são arbustos que variam de 100 a 250 centímetros de altura, possuem folhas em pecíolos cilíndricos de forma ovada, de inflorescência bráctea, apresentando embrião com glândulas côncavas nas superfícies (Flora e Funga do Brasil, 2020).

O OE foi estudado por Veras et al. (2019), pela primeira vez e demonstrou o β -Pineno (56,99%) como composto majoritário e algumas atividades biológicas, como antioxidante, antinociceptivo e antimicrobiano. Outros estudos também relataram o mesmo monoterpenóide como majoritário na avaliação química assim como potencial inseticida do óleo e resultados promissores no campo de encapsulamento para produção de compostos estáveis na forma de nanopartículas (Fernandes, 2024; Silva, 2018). No entanto, também já foram registrados compostos majoritários sesquiterpenos como δ -elemeno (40,36%) e , germacreno D (25,17%), apresentando atividades repelentes contra *Aedes aegypti* (Lima, 2020). A espécie de *A. macrochlamys* apresenta efeitos antiparasitários contra cercárias de *Schistosoma mansoni* e em pelo menos uma fase do ciclo de vida do *Aedes aegypti*, como efeito ovicida, apresentando em sua maioria sesqui e monoterpenos como E-cariofileno e γ -eudesmol (Ribeiro, 2020).

Figura 6: *Algrizea minor* Faria & Proença



Fonte: Autor (2022)

O interesse em elucidar o potencial biotecnológico da *A. minor*, torna-se fundamental a realização de estudos multidisciplinares que envolvam a caracterização química de seus compostos, a avaliação de suas atividades biológicas, e a investigação de seus mecanismos de ação. Tais estudos poderão fornecer informações valiosas para o desenvolvimento de produtos inovadores e sustentáveis, contribuindo para a conservação da biodiversidade da Caatinga e para o desenvolvimento regional.

4. RESULTADOS

Os resultados dessa pesquisa são apresentados na forma de artigo.

Atividade larvicida, adu lticida e oviposição deterrente do óleo essencial das folhas de *Algrizea minor* Faria & Proença frente ao mosquito *Aedes aegypti* L.

Fernanda Maria Amorim dos Santos¹, Júlio César Ribeiro de Oliveira Farias de Aguiar², Eduarda Florêncio Santos², Wêndeo Kennedy Costa¹, Patrick Érmerson Monteiro dos Santos³, Marcilene Souza da Silva³, Patrícia Maria Guedes Paiva³, Daniela Maria do Amaral Ferraz Navarro², Maria Tereza dos Santos Correia¹, Thiago Henrique Napoleão³, João Victor de Oliveira¹, Márcia Vanusa da Silva¹

¹Departamento de Bioquímica, Centro de Ciências da Saúde, Laboratório de Produtos Naturais, Universidade Federal de Pernambuco, 50670-420, Recife, Pernambuco, Brasil.

² Departamento de Química, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Laboratório de Medicina Tropical, Universidade Federal de Pernambuco, 50670-420, Recife, Pernambuco, Brasil.

³Departamento de Bioquímica, Centro de Ciências da Saúde, Laboratório de Bioquímica de Proteínas, Universidade Federal de Pernambuco, 50670-420, Recife, Pernambuco, Brasil.

Resumo

Mundialmente conhecido, o mosquito *Aedes aegypti* é o vetor responsável pela transmissão de vírus causadores de várias doenças como dengue, febre amarela, zika e chikungunya, que carecem de alternativas eficientes de controle. A epidemia de arboviroses ao redor do mundo provoca um problema de saúde em escala global, principalmente pela expressiva resistência aos inseticidas comumente utilizados. Este estudo tem como objetivo avaliar a atividade larvicida, adu lticida e ovipositora do óleo essencial das folhas de *Algrizea minor* obtido por hidrodestilação e caracterizado por GC-MS, no combate ao *A. aegypti*. Sendo assim, o OE apresentou um rendimento de 0,57%. Foram identificados 15 compostos, sendo o componente majoritário, o β -Pineno ($66,99 \pm 0,03\%$). O óleo essencial obteve atividade larvicida (CL_{50} de $60,76 \pm 2,60$ ppm) testadas num intervalo de concentração de 30 a 90 ppm em até 48h. A atividade de oviposição deterrente em 100 e 20 ppm durante 7 dias, e atividade

adulthood com CL_{50} de $35,83 \pm 6,96$ ppm, em um intervalo de concentração de 5 a 25 ppm em exposição de até 24h. Desta forma, evidencia-se um potencial inseticida natural, capaz, ainda, de combinações biotecnológicas afim de potencializar sua bioatividade de forma sustentável e ecológica.

Palavras-chave: Vetor; Caatinga; Inseticida natural; Arboviroses; Controle

Introdução

O *Aedes aegypti*, considerado o mosquito de maior importância mundial, é o vetor responsável pela transmissão de arboviroses causadoras de várias doenças como a chikungunya (CHIKV), dengue (DENV), zika vírus (ZIKV) e febre amarela (YFV), as quais atingem milhões de pessoas ao redor do mundo (Zara et al., 2016).

Segundo bases da Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS) (2023), foi divulgado que, na região das Américas, foram notificados cerca de 728.831 casos de doenças arbovirais apenas no primeiro semestre do ano de 2021. O Brasil foi o país que apresentou maiores índices, com 97% dos casos totais de chikungunya, seguido de zika com 85% e dengue com 83%. Esses dados, provavelmente, são muito piores levando em consideração a subnotificação e a classificação incorreta de casos arbovirais, afirmou a Organização Mundial de Saúde em 2020. Segundo um estudo de análise sistemática realizado por Shepard et al., 2016 de como a dengue afeta a economia e o desenvolvimento mundial, foi estimado um custo global de US\$ 8,9 bilhões com cerca de 58,4 milhões de casos sintomáticos em 141 países e territórios com transmissão ativa do vírus da dengue.

Apesar dos avanços na vacinação contra dengue e Zika, e da continuidade dos estudos para chikungunya, o controle vetorial com inseticidas convencionais, como organoclorados e organofosforados, permanece uma estratégia essencial na contenção das arboviroses, especialmente diante da necessidade de proteção ampla e duradoura. A sinergia entre a aplicação de vacinas, a otimização das estratégias de controle vetorial e o aperfeiçoamento contínuo da qualificação dos profissionais de saúde, aliados à promoção da educação comunitária, configura-se como um elemento fundamental na mitigação dos efeitos deletérios das arboviroses (Fernandes et al. 2024; Medeiros, 2024; Silvério et al., 2020).

Neste contexto, vemos atualmente o crescente interesse em encontrar compostos químicos de origem vegetal que possam interromper o ciclo reprodutivo do *A. aegypti*. Entre estes compostos, estão os óleos essenciais (OE) que são misturas complexas de metabólitos secundários de plantas aromáticas, com potencial bioinseticidas. Os OE apresentam vantagens biológicas quando comparados aos inseticidas químicos convencionais como a alta biodegradação, serem espécie-específicos, e devido a mistura de diversos compostos apresentam baixa taxa de desenvolvimento de resistência (Marques et al., 2021).

O Brasil, é um país megadiverso, com uma carga riquíssima de fauna e flora e abrigo para o domínio fitogeográfico Caatinga, marcado pelas condições ambientais adversas e espécies vegetais endêmicas altamente adaptadas à seca, que desenvolveram características químicas únicas, apresentando um fator diferencial para a bioprospecção (Ribeiro, 2018) e a possibilidade de novos estudos.

A espécie *Algrizea minor*, da família Myrtaceae, é endêmica na região Nordeste, foi recentemente descrita por Sobral, Faria & Proença no estado da Bahia (Flora do Brasil 2020). O conhecimento disponível sobre suas atividades biológicas é escasso, com registros na literatura indicando propriedades antimicrobianas, antinociceptivas, de toxicidade aguda e antioxidantes (Veras et al., 2019), gastroprotetora (Fernandes et al., 2024), moluscicida, leishmanicida, bactericida (Silva, 2018) antidiabética (Soares et al., 2023) e repelência contra insetos (Lima, 2020). Rica em metabólitos secundários de importância biotecnológica como terpenos, e sesquiterpenos (Fernandes, et al., 2024). Nessa perspectiva, o objetivo geral do estudo foi determinar a composição química do óleo essencial de *Algrizea minor* e avaliar seu potencial larvicida, aduicida e ovipositora contra o mosquito *Aedes aegypti*.

Metodologia

Coleta do material biológico

O material botânico (folhas de *Algrizea minor*) foi coletado no Parque Nacional do Catimbau no mês de fevereiro, em Pernambuco, Brasil, localizado na latitude 8°36'35" (S) e longitude 37°14'40" (W). A coleta do material foi autorizada pelo Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional

Associado (SisGen), sob o código A08E18B. Posteriormente, o material foi analisado e depositado no herbário do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), cujo voucher está registrado sob a numeração PEUFR35193. A extração do óleo essencial foi realizada por hidrodestilação em um sistema Clevenger, acoplado a um balão de fundo redondo de 5 L e aquecido por uma manta elétrica. As folhas foram previamente secas em estufas a temperatura ambiente e trituradas, sendo posteriormente adicionadas 395 g do material vegetal a um balão contendo 3 L de água destilada. O processo de hidrodestilação foi conduzido por 4 horas a 100 °C. O óleo essencial obtido foi armazenado em um frasco âmbar, hermeticamente fechado e mantido sob condições adequadas de temperaturas. O rendimento (%) foi calculado com base na matéria seca, utilizando a fórmula: $R\% = (VO \times MO / MS) \times 100$ onde R% representa o rendimento em porcentagem, VO é o volume de óleo em mL, MO corresponde à massa de 1 mL de óleo em gramas e MS refere-se à massa seca do material vegetal.

Análise da composição química do óleo essencial

A identificação dos componentes do óleo essencial foi realizada em Agilent 5975C (Series GC/MSD), equipado com coluna DB-5. As análises quantitativas foram feitas em um equipamento Thermo TraceGC Ultra, equipado com uma coluna VB-5 e um detector tipo DIC a 250 °C. As identificações feitas por CG-EM foram feitas comparando-se os espectros de massa obtidos pelo equipamento usando o software MassFinder 4, NIST08 e Wiley Registry™ 9th Edition, integrado ao software Agilent MSD Productivity ChemStation (Agilent Technologies, Palo Alto, EUA) e ao Índice de Retenção. Comparou-se também com os espectros publicados por Adams, 2007 e seus 23 índices de retenção calculados por co-injeção da amostra dos óleos essenciais com solução de padrões de hidrocarboneto C9–C30, calculados pela equação de Van den Dool and Kratz (1963). As quantificações em CG foram feitas em triplicata para obtenção de desvio padrão.

Avaliação da atividade larvícida

Foram utilizados insetos pertencentes à linhagem Rockefeller. A criação foi realizada em sala com temperatura mantida entre 25 ± 27 °C e entre 75 ± 5% de umidade, com um fotoperíodo de 12:12 claro-escuro (Monte et al., 2020). A atividade larvícida foi avaliada de acordo com a metodologia de Navarro et al. (2013). O OEAm foi diluído em água destilada com auxílio de 3 gotas do co-solvente Tween 80,

correspondendo a uma concentração de 0,24% (V/V) no intervalo de concentração de 30 a 90 ppm, para determinação da CL₅₀, sendo utilizada água destilada como controle. Foram utilizadas 20 larvas em cada uma das concentrações analisadas, em estágio L3, sendo a taxa de mortalidade (%) foi determinada após 48 horas de incubação a 25 ± 2 °C. Todos os experimentos realizados em triplicatas independentes. As larvas são consideradas mortas quando não apresentam resposta a estímulos (Santos et al., 2017).

Avaliação da atividade adulticida

Fêmeas adultas foram individualizadas em frascos plásticos (5 cm de altura x 7,1 cm de largura) e submetidas a diferentes concentrações do OEAm (5, 10, 15, 20 e 25 ppm) diluídas em água destilada com o auxílio de gotas do co-solvente Tween 80, a uma concentração de 0,24% (V/V). Cada tratamento consistiu em três repetições, com 20 fêmeas por unidade experimental, totalizando 60 fêmeas por tratamento. Uma hora após o início do experimento, as fêmeas receberam alimento, consistindo em solução aquosa de sacarose a 10%, fornecida na parte superior dos frascos. A mortalidade das fêmeas foi monitorada em intervalos de tempo pré-definidos após o início da exposição: a cada 30 minutos durante 2 horas, e 24h. O controle negativo foi utilizado água destilada. A taxa de mortalidade (%) determinada após 48 h de incubação a 25–27°C.

Avaliação da atividade de oviposição

O bioensaio de oviposição foi realizado no quarto dia após a cópula. Foram feitos utilizando-se oito gaiolas de tamanhos cúbicos de 30cm de lado contendo cada uma delas 10 fêmeas. Os ovos foram coletados em papéis de filtros cortados em forma de quadrados de 10 cm de largura, dobrados em forma cônica e colocados em cada copo de vidro de 10 cm de diâmetro (Afify; Galizia 2014). Em seguida, foram preparados 200 mL de solução controle (água destilada e co-solvente Tween) e soluções testes nas concentrações de 20 ppm e 10 ppm. Para cada gaiola foram colocados em recipientes plásticos, distribuídos aos pares (C1 e T1, C2 e T2, e assim sucessivamente até C8 e T8) nas diagonais das gaiolas e de forma oposta e alternada. Em cada copo transferiu-se 25 mL de solução controle e 25 mL de solução teste. Durante o ensaio, os mosquitos permaneceram sob uma temperatura de 27 ± 1 °C, umidade relativa de $73 \pm 0,4\%$ e 16 h na ausência de luz. Após esse período,

determinou-se o número de ovos depositados nos controles e nos testes para as oito gaiolas. Também foram determinados os Índices de Atividades de Oviposição (IAO) a partir dos números de ovos obtidos nos bioensaios (Kumuda; Kumar; Vijayan 2019).

Análises estatísticas

Todas as análises estatísticas foram realizadas em triplicata e os resultados obtidos foram expressos na forma de média $\pm$ desvio padrão e submetidos a análise de variância (ANOVA) e teste t – Student, considerando-se significativos os ensaios com $p < 0,05$. A análise comparativa dos resultados foi realizada por meio do teste de turkey com nível de significância de 95%, utilizando o programa estatístico Statistic versão 9.0 ou GraphPad Prism versão 9.0.

Resultados e discussão

O gênero *Algrizea*, descrito pela primeira vez em 2010 (Sobral et al., 2010), permanece pouco explorado cientificamente, em grande parte devido ao seu caráter endêmico no Nordeste brasileiro e à ainda incipiente bioprospecção no bioma Caatinga. A baixa representatividade de estudos voltados à flora dessa região limita o aproveitamento do seu potencial químico e biológico. Diante disso, este trabalho se destaca por ser pioneiro ao investigar a bioatividade larvicida, adulticida e de inibição da oviposição do gênero *Algrizea*. A identificação de compostos com potencial inseticida natural pode contribuir para o desenvolvimento de alternativas sustentáveis no controle de vetores de importância médica e pragas agrícolas, fortalecendo a valorização da biodiversidade da Caatinga e abrindo caminhos para futuras aplicações em saúde pública e manejo ambiental.

A extração do OEAm foi feita por hidrodestilação e caracterizado por GC-MS. O rendimento calculado foi de 0,57%, o valor é superior quando comparado com outras espécies relatadas da família Myrtaceae, por exemplo, *Syzygium cumini* (L.) Skeels, que obteve o rendimento de 0,12% (Almeida, 2021), e *Plinia Rivularis* (Cambess.) Rotman, com rendimento de 0,29% (Santos et al, 2019). Um estudo de Ribeiro et al., (2018), destaca que variações dos constituintes nos óleos voláteis é comum e estão diretamente relacionadas com fatores bióticos e abióticos como tipo do solo, umidade, horário de colheita, precipitação, além de interações biológicas, luminosidade, temperatura.

Na caracterização química dos constituintes do OEAm foram identificados 15 compostos, equivalente a 95,9% da amostra estudada. Os principais elementos presentes no OEAm foram o β -Pineno ($66,99 \pm 0,03\%$) apresentando-se como componente majoritário, o Bicyclogermacreno ($6,26 \pm 0,42\%$), α -Pineno ($6,57 \pm 0,26\%$), Germacreno D ($5,97 \pm 0,19\%$), (E)-Cariofileno ($3,76 \pm 0,31\%$) e α -Humuleno ($1,42 \pm 0,01\%$) (Tabela 1). Os monoterpenos de hidrocarbonetos (MH) correspondem ao maior valor da porção com 75,5%, em seguida os sesquiterpenos de hidrocarbonetos (SH) com 19,39%, e em menor proporção os sesquiterpenos oxigenados (SO) e os monoterpenos oxigenados (MO) com 0,34% e 0,01% respectivamente.

Tabela 1. Composição química do Óleo Essencial de *Algrizea minor* (OEAm).

No.	Compostos	RI Cal	RI Lit	OEA m (%)	OEAm S.D.
1	(E)-cariofileno	1417	1417	3.76	0.31
2	Aromadendreno	1439	1439	0.99	0.04
3	α-Humuleno	1452	1452	1.42	0.01
4	Allo-aromadendreno	1458	1458	1.31	0.03
5	Germacreno-D	1480	1480	5.97	0.19
6	Bicyclogermacreneo	1500	1500	6.26	0.42
7	δ -Cadineno	1522	1522	0.21	0.06
8	Spathulenol	1577	1577	0.13	0.06
9	α -Thujeno	929	924	0.39	0.02
10	α-Pineno	936	932	6.57	0.26
11	β-Pineno	977	974	66.99	0.03
12	Mirceno	993	988	0.44	0.05
13	Limoneno	1030	1024	1.11	0.03
14	Terpineno-4-ol	1179	1178	0.01	0.00
15	Guaiol	1600	1600	0.34	0.03

TOTAL (%) 95.9

Monoterpenos de hidrocarbonetos (MH)	75.50
Monoterpenos oxigenados (MO)	0.01
Sesquiterpenos de hidrocarbonetos (SH)	19.39
Sesquiterpenos oxigenados (SO)	0.34

^aIRexp = Índice de retenção experimental; ^bIRlit = Índice de retenção descrito na literatura (Adams, 2007).

O componente majoritário, β -Pineno, é um monoterpeno bastante abordado na literatura, presente em diversos óleos voláteis de diferentes tecidos vegetais (Dai, et al. 2024). Apresenta uma diversidade de atividades biológicas como antimicrobiano, imunomodulador (Costa, 2017), citotoxicidade, antioxidante (Brustulim 2019), antifúngico (Pereira et al., 2020). Além disso, o pineno está associado à atividade larvicide de óleos essenciais, como no caso do óleo essencial de limão-da-china (*Citrus limonia* Osbeck), no qual é um dos componentes majoritários. Esse óleo apresenta excelente atividade larvicide contra *A. aegypti*, demonstrando resultados superiores em comparação com outras espécies de *Citrus* que não possuem o pineno como composto majoritário (Souza, 2019).

Quando comparamos a variedade química de *A. minor* com *Baccharis reticularia* DC (Asteraceae), é detectada semelhança principalmente aos fitoconstituintes biciclogermacreno e germacreno D, que no estudo de Botas et al., (2017) ressaltou atividade larvicide e de repelência contra *A. aegypti* de *B. reticularia* DC, além de apresentarem propriedades fungicide (Ferreira, 2023) e oviposição (Albuquerque et al., 2022), respectivamente.

Em relação ao α -Pineno, um monoterpeno amplamente discutido na literatura científica, é associado a diversas atividades biológicas em óleos essenciais, como acaricide (Santana et al., 2022), antimicrobiana (Borges et al., 2022) e antifúngica (Filho et al., 2020). Esse composto também apresenta propriedades larvicidas, por exemplo, em *Syzygium cumini* (L.) Skeels (Myrtaceae), exibiu atividade larvicide contra o *Aedes aegypti* (Everton et al., 2020) e efeitos dissuasores de oviposição em *Etlíngera elatior* (Bezerra-Silva et al., 2016), juntamente com atividade antimicrobiana (Leite et al., 2007). Um estudo conduzido com o isolamento dos isômeros do pineno (α -pineno e β -pineno) indica potencialidades de larvicidas, ovicidas e adulticidas contra *A. aegypti* (Sarma et al., 2022).

Atualmente, a Organização Mundial da Saúde (OMS) não estabelece diretrizes ou recomendações específicas quanto à classificação da atividade larvicide. No entanto, na literatura científica, essa classificação é baseada em estudos anteriores. Cheng et al. (2003) consideram como ativos ou com potencial larvicide os óleos essenciais cujo CL₅₀ seja igual ou inferior a 100 $\mu\text{g/mL}$. Adicionalmente, Komalamisra et al. (2005) classifica como inativos aqueles com CL₅₀ acima de 750 $\mu\text{g/mL}$, ativos os que possuem CL₅₀ inferior a 50 $\mu\text{g/mL}$ e moderadamente ativos os que apresentam CL₅₀ entre 50 e 100 $\mu\text{g/mL}$. Dentro desta classificação o OEAm exibiu atividade

larvicida moderada, com uma CL₅₀ (concentração letal para 50% de mortalidade) de $60,76 \pm 2,60$ ppm contra larvas de *A. aegypti* no estágio larval L4. A mortalidade foi observada mesmo nas menores concentrações do óleo testadas no ensaio. A faixa de mortalidade testada está dentro de um intervalo de concentração de 30 a 90 ppm.

Tabela 2: Atividade larvicida do OEAm contra larvas do mosquito *A. aegypti*

Composto	N ^a	GL ^b	CL ₅₀ (95% IC) ^{c,d} (LCL-UCL) ^e	CL ₉₀ (95% IC) ^{c,d} (LCL-UCL) ^e
OEAm	480	4	$60,76 \pm 2,60$ ppm (56,17-66,44)	$105,80 \pm 2,44$ ppm (112,98-96,55)

N= Número de larvas, GL= Grau de Liberdade, LC = Concentração Letal, LCL-UCL= Intervalo de Confiança.

O valor de CL₅₀ do OEAm é similar ao registrado nos ensaios larvicidas frente às larvas de *Aedes aegypti* de óleos voláteis de *Eucaliptus globulus* alcançando um LC₅₀= 60,18 ppm em 48h (Kocher & Riat, 2017), e inferior a *Eugenia candolleana* na qual obteve 100% de mortalidade larval após 24h de teste com valor de CL₅₀= 300 ppm (Neves et al., 2017), ambas espécies pertencentes à família Myrtaceae. Um estudo de avaliação de OE com potencialidade inseticida frente o culicídeo *A. aegypti*, na qual investigou 280 espécies vegetais de 33 famílias, mostrou que uma boa parte dos OE que eram representantes da família Myrtaceae que somava 38,3% do total de espécies. O autor complementa ainda que, os componentes majoritários de OE mais ativos incluem β - cariofileno, α - pineno, constituintes presentes no OE de *A. minor*, e as concentrações letais variaram de 40 a 120 ppm (Santos et al., 2022). Informações estas que, confirmam a ideia de que OE ricos em sesquiterpenos oxigenados, hidrocarbonetos monoterpênicos e fenilpropanóides são classes mais ativas, e apoia a visão de que os mesmos são promissores na formulação de inseticidas no geral.

A busca por inseticidas naturais de origem vegetal é crucial para o controle de pragas, visando alternativas sustentáveis e eficazes. Com a exploração de fontes potenciais de princípios ativos, como espécies pouco exploradas, possibilita a descoberta de novos compostos inovadores e aplicações singulares, como por exemplo, a utilização de resíduos de madeiras como agente larvicida (Garcia & Correia, 2024)

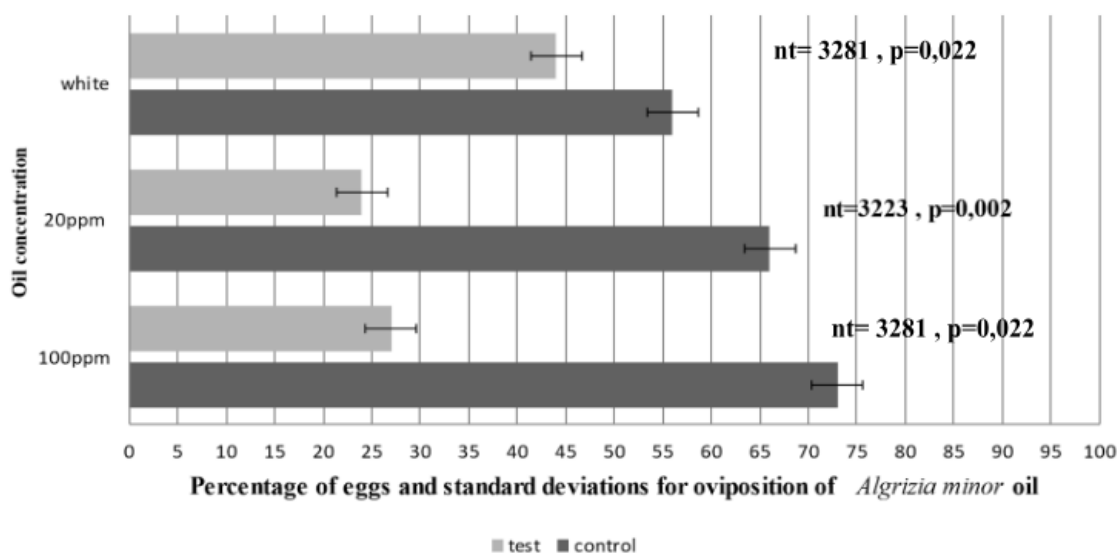
Testes comportamentais de oviposição com fêmeas de *A. aegypti* foram conduzidos utilizando o OEAm, revelando resultados antagônicos significativos em comparação com o controle. Os resultados detalhados podem ser observados na Tabela 3 e Figura 1.

Tabela 3: Índice de Atividade de Oviposição (IAO) para o OEAm contra fêmeas do inseto *A. aegypti*.

(Concentração)	IAO	Controle (%)	Teste (%)	P	N
Água-tween x Água-tween (Branco)	-0.11	56	44	0.111	3657
OEAm 100ppm	-0.46	73	27	0.022	3281
OEAm 20ppm	-0.31	66	34	0.002	3223

P= Significância estatística e N = Número total de ovos.

Figura 1: Porcentagem de ovos para oviposição em concentrações de óleo de *A. minor*.



A atividade dissuasora do OE fundamentado no IAO e considerando um $p < 0,05$ como indicador de significância estatística, a maior parte das fêmeas de *A. aegypti* optaram pela solução controle à solução teste contendo OEAm. No ensaio com o OEAm a 100 ppm, a deposição de ovos no controle foi consideravelmente maior (73%) ($p = 0,022$; IAO = -0,46) do que contabilizado no teste (27%). Conforme a concentração diminuiu, a atividade dissuasora continuou satisfatoriamente expressa

em 20 ppm (24%) ($p = 0,002$; IAO = -0,31). Para o ensaio com branco ($p = 0,111$; IAO = -0,11) condições externas não influenciaram nos resultados. A média do total de ovos produzidos em cada tratamento e controle foi de 829,69 e 2047,92 ovos, respectivamente. O OEAm na concentração de 20 ppm expressou um diferencial significativo no total de ovos contabilizados em relação ao controle aplicado apenas em água potável. Deste modo, ficou evidente a resposta de oviposição das fêmeas grávidas ao OE.

Não há registros na literatura sobre ensaio de oviposição do gênero *Algrizea*, no entanto encontra-se relatos de outras espécies da família Myrtaceae como por exemplo o OE de *Syzygium lanceolatum* na qual apresentou atividade de oviposição deterrente contra seis mosquitos testados em um estudo, incluindo *A. aegypti* com $LC_{50} = 51,20 \mu\text{g/ml}$ (Benelli et al., 2018). A *Eugenia uniflora* (Myrtaceae) também apresentou atividade de inibição da oviposição contra *A. aegypti*, utilizando o extrato aquoso e o hidrolato das folhas da planta, alcançando cerca de 90% de inibição. Outro estudo analisaram a resposta de oviposição de *A. aegypti* para extrato aquoso de *Psidium guajava* (Myrtaceae), mostrou propriedades atrativas para deposição de ovos (IAO = +0,12) (Iyyappan et al., 2022). Estas espécies exemplificadas acima apresentam similaridades com *A. minor* nas substâncias químicas em concentrações variáveis, geralmente caracterizados por constituintes majoritários comuns, o que geralmente está relacionado com a atividade biológica, no entanto esta propriedade pode ser conferida à força sinérgica dos vários constituintes (Iyyappan, 2016).

O OE de *Etlintera elatior* porcelana (Zingiberaceae) no teste de oviposição frente *A. aegypti*, na concentração de 100 ppm apresentou cerca 35% a média de ovos depositados em relação ao controle (Silva, 2012), ou seja, uma ação deterrente mais fraca quando comparado a OEAm que em 100 ppm obteve 27% do número total de ovos depositados. Assim como no estudo de Sales et al., (2019) o OE de *Croton rhamnifolioides* (Euphorbiaceae) na concentração de 100 ppm apresentou cerca de 39% na deposição de ovos de fêmeas em relação ao controle.

Um trabalho realizado por Albuquerque et al., (2022) isolou o composto β -germacreno-D-4-ol para realizar ensaios larvicidas (18 ppm) e de oviposição (5 ppm) contra *A. aegypti*, e obteve resultados altamente ativos de toxicidade para larvas de quarto ínstar e a repelência à deposição de ovos. Há registro na literatura dos compostos isolados (E)-cariofileno (18 ppm) e α -humuleno (5 ppm) também demonstraram propriedades dissuasora de oviposição, observando uma quantidade

de ovos depositados no teste em comparação ao controle em 40,9% ($p = 0,004$) e 31,2% ($p = 0,003$), respectivamente (Silva et al., 2015).

A atividade aduítica da espécie *A. minor* é investigada pela primeira vez neste estudo, conforme a literatura científica consultada. Na qual o OEAm apresentou uma excelente atividade contra *A. aegypti* adulto, com CL_{50} de 35,8 ppm. Esse resultado é significativo, pois está abaixo do limite estabelecido na literatura para óleos essenciais com alta atividade, ou seja, aqueles que apresentam $CL_{50} < 50$ ppm (Cheng, 2003; Dias, 2014; Gomes, 2016).

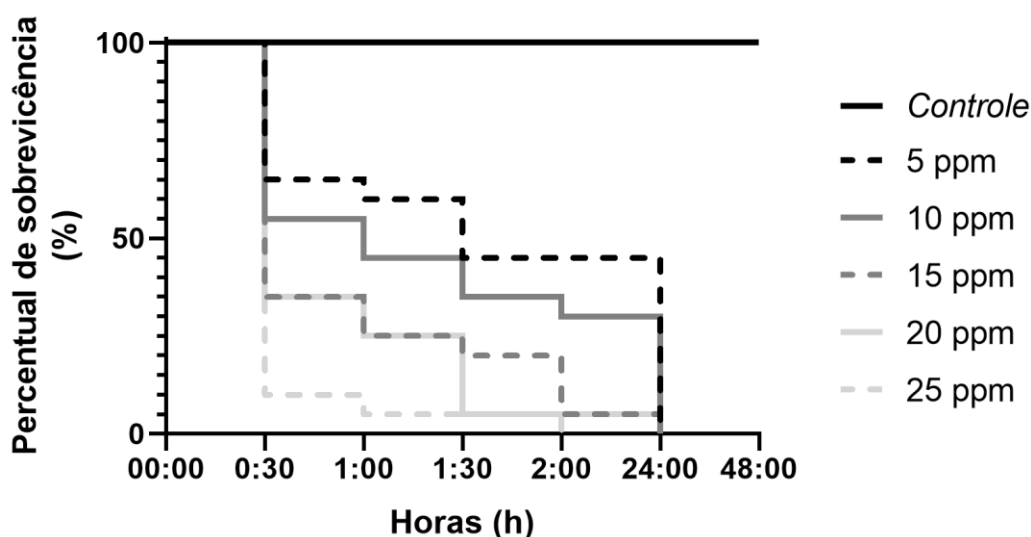
Tabela 4: Atividade aduítica do OEAm contra adultos fêmeas de *A. aegypti*.

Composto	N	p	CL_{50} (95% IC) (LCL-UCL)
OEAm	360	0.0324	$35,83 \pm 6,96$ ppm (18,67-52,00)

N= Número de fêmeas adultas, P= significância estatística, CL = Concentração Letal, LCL-UCL= Intervalo de Confiança.

No efeito aduítico, o OEAm demonstrou eficácia letal, induzindo 100% de mortalidade em todas as concentrações testadas após 24 horas. A ação do óleo foi dose-dependente, com mortalidade de 100% observada na maior concentração (25 ppm) já aos 30 minutos, e de 50% na concentração de 10 ppm após 1 hora de exposição. A menor concentração testada atingiu 50% de mortalidade em 1,5 horas, culminando em 100% de mortalidade após 24 horas. No controle negativo não houve mortalidade de mosquitos (Figura 2).

Figura 2: Percentual de sobrevivência de fêmeas adultas de *A. aegypti* em diferentes concentrações de OEAm, durante cinco intervalos de observação.



A investigação em questão apresenta-se como um avanço relevante, corroborando a crescente procura por inseticidas derivados de plantas. A literatura científica evidencia o interesse em explorar produtos naturais como alternativas viáveis para o manejo de insetos vetores de doenças (Isman, 2020). Spletzer et al. (2021) sugerem que a eficácia de princípios ativos em ensaios com adultos pode ser atribuída à sua capacidade de penetrar o exoesqueleto quitinoso do mosquito por contato, desencadeando um efeito tóxico, causando mortalidade.

Em relação à CL₅₀, Botelho et al. (2022) avaliaram o óleo volátil extraído de *Ocimum basilicum* var. *minimum* (L.), constituído majoritariamente por monoterpenos como limoneno e 1,8-cineol, em espécimes adultos de *A. aegypti*, reportando um valor de CL₅₀ de 69,91 µg/mL. Para o OE nanoemulsionado das folhas de *Ayapana triplinervis* (Asteraceae), dados revelam que a totalidade dos mosquitos *A. aegypti* exibiu sensibilidade à concentração de 150 µg.mL⁻¹ após 45 minutos de exposição. Durante o mesmo intervalo temporal, a concentração mais diluída (50 µg.mL⁻¹) não induziu mortalidade significativa, com uma taxa de óbito próxima a zero. Composto majoritariamente por monoterpenos, como o 2,5-Dimetoxi-p-cimeno e β-Pineno (Rodrigues et al., 2022), apresentou efeito adulticida inferior, mesmo combinado com nanotecnologia.

A busca por alternativas naturais, com ênfase em óleos essenciais, é justificada por suas vantagens consideráveis em relação aos inseticidas sintéticos. Essas vantagens abrangem a baixa toxicidade para mamíferos, a sustentabilidade ambiental e a multiplicidade de mecanismos de ação. Além disso, devido à complexidade da composição do óleo essencial, há menor probabilidade de desenvolvimento de resistência pelo vetor (Isman, et al., 2020; Welbert, et al., 2024).

Neste contexto, a insuficiência de estudos científicos sobre a atividade biológica da espécie *A. minor* evidencia a necessidade de investigar as propriedades e a eficácia do óleo essencial extraído desta planta, visando seu potencial uso no controle de vetores. Os resultados obtidos neste estudo demonstram que o óleo essencial das folhas de *A. minor* apresenta notável eficácia no controle de *A. aegypti* em seus estágios larval e adultos, além de exercer influência sobre o comportamento reprodutivo de fêmeas fecundadas.

Conclusões

As plantas do domínio fitogeográfico Caatinga são frequentemente subestimadas quanto às suas propriedades biológicas, mas apresentam um grande potencial biotecnológico. Um exemplo promissor é o óleo essencial de *Algrizea minor*, que demonstrou atividade significativa sobre larvas e inibição da oviposição, além do potencial adulticida contra *A. aegypti*, com dados inéditos e pioneiros neste estudo. Esses achados abrem perspectivas promissoras para o desenvolvimento de produtos inovadores e a transferência de tecnologia para a indústria, contribuindo para soluções sustentáveis no controle de vetores de doenças.

Referências

- ABDELGALEIL, S. A.; BADAWY, M. E. I.; MAHMOUD, N. F.; MAREI, G. I. K. Acaricidal activity, biochemical effects and molecular docking of some monoterpenes against the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, v. 156, p. 105-115, 2019..
- ADAMS, R. P. *Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry*. 4. ed. Carol Stream, Illinois: Allured Publishing Corporation, 2007.
- AFIFY, A.; GALIZIA, C. Gravid females of the mosquito *Aedes aegypti* avoid oviposition on m-cresol in the presence of the deterrent isomer p-cresol. *Parasites & Vectors*, v. 7, p. 1–10, 2014.

ALBUQUERQUE, B. et al. Oviposition deterrence, larvicidal activity and docking of β -germacrene-D-4-ol obtained from leaves of *Piper corcovadensis* (Piperaceae) against *Aedes aegypti*. *Industrial Crops and Products*, v. 182, p. 114830, 2022.

ANDRADE, A. et al. Antifungal Activity, Mode of Action, Docking Prediction and Anti-biofilm Effects of (+)- β -pinene Enantiomers against *Candida* spp. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, v. 18, n. 29, p. 2481-2490, 2018.

BENELLI, G.; RAJESWARY, M.; GOVINDARAJAN, M. Towards green oviposition deterrents? Effectiveness of *Syzygium lanceolatum* (Myrtaceae) essential oil against six mosquito vectors and impact on four aquatic biological control agents. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 25, p. 10218-10227, 2018.

BENNETT, K. et al. Historical environmental change in Africa drives divergence and admixture of *Aedes aegypti* mosquitoes: a precursor to successful worldwide colonization?. *Molecular Ecology*, v. 25, n. 17, p. 4337-4354, 2016.

BEZERRA-SILVA, P. et al. Evaluation of the activity of the essential oil from an ornamental flower against *Aedes aegypti*: electrophysiology, molecular dynamics and behavioral assays. *PLOS ONE*, v. 11, n. 2, e0150008, 2016.

BORGES, M. et al. Potential Antibacterial Action of α -Pinene. *Medical Science Research*, v. 12, n. 1, p. 103390-12709, 2022.

BOTAS, G. et al. *Baccharis reticularia* DC. and limonene nanoemulsions: promising larvicidal agents for *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) control. *Molecules*, v. 22, n. 11, 1990, 2017.

BOTELHO, A. S. et al. Studies on the phytochemical profile of *Ocimum basilicum* var. *minimum* (L.) Alef. essential oil, its larvicidal activity and *in silico* interaction with acetylcholinesterase against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *International Journal of Molecular Sciences*, v. 23, n. 11172, p. 15, 2022.

CAVALCANTI, E.; MORAIS, S.; LIMA, M.; SANTANA, E. Larvicidal activity of essential oils from Brazilian plants against *Aedes aegypti* L. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, v. 99, n. 5, p. 541-544, 2004.

CHENG, S. S.; CHANG, H. T. et al. Bioactivity of selected plant essential oils against the yellow fever mosquito *Aedes aegypti* larvae. *Bioresource Technology*, v. 89, p. 99–102, 2003.

DAI, D. N.; THUY, L. T.; XUYEN, D. T.; VIET, N. T.; HUONG, L. T.; THINH, B. B. Perfil químico e potencial antimicrobiano de óleos essenciais das folhas e flores de *Syzygium ripicola* (Craib) Merr. & L. M. Perry. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, p. 1-11, 2025.

DE MENEZES, A.; DE SOUSA, W. Composição química dos óleos essenciais de *Schinus molle* e atividade antifúngica frente à *Sclerotinia sclerotiorum*. *Colloquium Agrariae*, v. 16, n. 3, p. 115-123, 2020.

DIAS, C. N.; MORAES, D. F. C. Essential oils and their compounds as *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae) larvicides. *Parasitology Research*, v. 113, p. 565-592, 2014.

DOSOKY N et al., Volatile Composition, Antimicrobial Activity, and In Vitro Innate Immunomodulatory Activity of *Echinacea purpurea* (L.) Moench Essential Oils. *Molecules*, 2023.

ELHIDAR, N et al., Chemical composition, antimicrobial activities and synergistic effects of essential oil from *Senecio anteuphorbium*, a Moroccan endemic plant. *Ind Crops Prod.*, 130, p310-315, 2019.

EVERTON, G, et al, Larvicidal activity opposite *Aedes aegypti* of the essential oil of the dry leaves of *Syzygium cumini* (L.) Skeels (Myrtaceae). *Res., Soc. Dev.* 9(11), e5529119967, 2020.

FERNANDES, C. O. S., FERNANDES D., et al. Arboviroses emergentes e reemergentes no Brasil: Dengue, Chikungunya e Zika. *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences*, 6(8), 5036–5048, 2024.

FILHO, A., et al., Perfil químico e atividades antioxidante e antifúngica do óleo essencial da flor de *Cochlospermum regium*(Mart. ex Schrank.) –Pilg. (Bixaceae). *Colloq. Agrar*; 16(4), 89-101, 2020.

KOMALAMISRA, N., TROGONTOKIT, Y, et al. Screening for larvicidal activity in some Thai plants against four mosquito vector species. *Send to Southeast Asian Journal of Tropical Medicine an Public Health*, 36(6):1412-22; 2005.

GARCIA, L. F. A., & CORREIA, M. V. A madeira como fonte de larvicidas naturais contra *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Pesquisa Florestal Brasileira*, 44, 2024.

GOIDIN, D., et al., Parity and Longevity of *Aedes aegypti* According to Temperatures in Controlled Conditions and Consequences on Dengue Transmission Risks. *Plos One*, 2015.

GOMES, P. R. B., et al. Avaliação da atividade larvicida do óleo essencial do *Zingiber officinale* Roscoe (gengibre) frente ao mosquito *Aedes aegypti*. *Revista brasileira de plantas medicinais*, 18, 597-604, 2016.

GOULD, E., et al. Lamballerie X, Emerging arboviruses: why today?. *One health* ;4, 1-13, 2017.

ISMAN, M. B. Botanical insecticides in the twenty-first century—fulfilling their promise?. *Annual Review of Entomology*, 65(1), 233-249, 2020.

IYYAPPAN, V., et al. Oviposition responses of gravid *Aedes aegypti* Linn. Mosquitoes (Diptera: Culicidae) to natural organic infusions under laboratory condition. *J. Asia. Pac. Entomol.* 25(1)101853, 2022.

KOCHER, D., RIAT, A., Larvicidal Potential of *Eucalyptus globulus* oil against *Aedes* and *Culex* mosquitoes. *IndianJ. Entomol.* 84(2): 290-295, 2017.

KUMUDA, S., KUMAR, T., VIJAYAN, V., Larvicidal, Ovicidal and Oviposition deterrent efficacy of extracts of two plant species against *Culex quinquefasciatus* Say, at Mysuru, India. *Int. J. Curr. Res.* 11(2)1484-14889. 9, 2019.

LEITE, A., LIMA, E., SOUZA, E., DINIZ, M., et al. Inhibitory effect of beta-pinene, alpha-pinene and eugenol on the growth of potential infectious endocarditis causing Gram-positive bacteria. *Rev. Bras. Cienc. Farm.*, 2007.

MARQUES, D., ROCHA, J., ALMEIDA, T., MOTA, E., Essential Oils Of Caatinga Plants With Deletary Action For *Aedes Aegypti*: A Review. *S AFR J BOT* ;143, 69-78, 2021.

Medeiros, E. A. (2024). Desafios no controle da epidemia da dengue no Brasil. *Acta Paulista de Enfermagem*, 37, eEDT012. <https://doi.org/10.37689/acta-ape/2024EDT012>

Monte Z, Navarro D, Aguiar J, et al, Pyrimidine Derivatives: qsar studies of larvicidal activity against aedes aegypti. *J. Braz. Chem. Soc.*,2020,p 3-10. <http://dx.doi.org/10.21577/0103-5053.20200039>

Neves I, Rezende S, Kirk J, Pontes E, Carvalho M, Composition and Larvicidal Activity of Essential Oil of *Eugenia candolleana* DC. (MYRTACEAE) against *Aedes aegypti*. *Rev. Virtual Quim.*, 2017;9(6). <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170138>

Ramya S, Neethirajan K, Jayakumararaj R, Profile of bioactive compounds in *Syzygium cumini* - a review. *J. Pharm. Res*, 2012;5(8), 4548-4553.

Ribeiro S, Bonilla O, Lucena E, Influência da sazonalidade e do ciclo circadiano no rendimento e composição química dos óleos essenciais de *Croton* spp. da Caatinga. *Iheringia Sér. Botânica*, 2018;73(1),31-38. <http://dx.doi.org/10.21826/2446-8231201873104>

Rodrigues, A. B. L., Martins, R. L., de Menezes Rabelo, É., de Matos, J. L., Santos, L. L., Brandão, L. B., de Castrio Cantuaria, P. (2022). In silico and in vivo study of adulticidal activity from Ayapana triplinervis essential oils nano-emulsion against *Aedes aegypti*. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(9), 104033. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104033>

Salehi B, Upadhyay S, Orhan I, Jugran A, Jayaweera A, Dias D, Sharopov F, Taheri Y, Martins N, et al, Therapeutic Potential of α - and β -Pinene: A Miracle Gift of Nature. *Biomolecules*,2019; 9(11), 738. <https://doi.org/10.3390/biom9110738>

Santana B, De Deus R, Oliveira G, Vieira T, Roner M, Essential oils with tick activity against *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* and *Rhipicephalus sanguineus*: a review. *Res., Soc. Dev.*, 2022;11(15), 178111-537030. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i15.37030>

Santos A, Santos F, Nascimento A., Lima L, Dias L, Silva G, Rai M, Feitosa C, Chemical composition, actividad larvicide, insecticide and repellent of essential oil *Aedes aegypti*. *Res., Soc. Dev.*,2022;11(2), e37611225711. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i2.25711>

Santos G, Dutra K, Barros R, Câmara, C Lira D, Gusmão N, Navarro D, Essential oils from *Alpinia purpurata* (Zingiberaceae): Chemical composition, oviposition deterrence, larvicidal and antibacterial activity. *Ind Crops Prod.*, 2012,40, p254-260. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.03.020>

Santos G, Dutra K, Lira C, Lima B, Napoleão T, et al, Effects of *Croton rhamnifolioides* Essential Oil on *Aedes aegypti* Oviposition, Larval Toxicity and Trypsin Activity. *Molecules*, 2014;19(10), 16573-16587. <https://doi.org/10.3390/molecules191016573>

Santos L, Nascimento J, Santos M, Marriel J, Bezerra-Silva P, Rocha S, et al, Fatty acid-rich volatile oil from *Syagrus coronata* seeds has larvicidal and oviposition-deterrent activities against *Aedes aegypti*. *Physiol. Mol. Plant Pathol.*, 2017;100, p35-40. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2017.05.008>

Santos M, Louro G, Coutinho E, Costa E, Fernandes S, Simionatto E, Composição química e atividade antimicrobiana do óleo essencial de *Plinia rivularis* (Myrtaceae) de Mato Grosso do Sul. In *Anais do 17º ENIC*, 2019, n 11. Disponível em <https://anaisonline.uems.br/index.php/enic/article/view/6258>

SARMA, R., AALDHIKARI, K., KHANIKOR, B., Evaluation of efficacy of pinene compounds as mosquitocidal agent against *Aedes aegypti* Linn. (Diptera: culicidae). *Trop. Insect Sci* ;42, p 2567-2577, 2022.

SHEPARD, D., UNDARRAGA, E., HALASA, Y., STANAWAY, J., The global economic burden of dengue: a systematic analysis. *The Lancet infectious diseases* ;16(8), 935-941, 2016.

SILVÉRIO, M., ESPÍNDOLA, L., LOPES, N., VIEIRA, P., Plant natural products for the control of *Aedes aegypti*: The main vector of important arboviruses. *Molecules*, 25(15), 3484, 2020.

SILVA, R. et al. (E)-Caryophyllene and α -Humulene: *Aedes aegypti* Oviposition Deterrents Elucidated by Gas Chromatography-Electrophysiological Assay of *Commiphora leptophloeos* Leaf Oil. *Plos One*, 2015.

SOBRAL, M., et al. A new species of *Algrizea* (Myrteae, Myrtaceae) from Bahia, Brazil. *Neodiversity*, 5(1), 1-6, 2010.

SPLETOZER, A. G. et al. Plantas Com Potencial Inseticida: Enfoque Em espécies amazônicas. *Ciência Florestal*, v. 31, n. 2, p. 974-97, 2021.

Stadnik A, Proença C, *Algrizea* in Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

VARGAS, L., FERREIRA, S., SOUZA, M., SILVA, C., BITTENCOURT, W., Resistência das populações de *Aedes* (*Stegomyia*) *aegypti* (Linnaeus, 1762) (Insecta, Diptera, Culicidae) aos inseticidas utilizados para o controle: estado da arte do conhecimento. *Rev. Cien. Med e Biol.*, 2022.

VERAS, B., et al. *Algrizea Minor* Sobral, Faria & Proença (Myrteae, Myrtaceae): chemical composition, antinociceptive, antimicrobial and antioxidant activity of essential oil. *Nat. Prod. Res.*,34(20), 3013-3017, 2019.

WELBERT, J. P., GENTA, F. A., GOMES, B., & MONTEIRO, M. H. D. A. Potencial da utilização de resíduos orgânicos da produção industrial do suco de laranja *Citrus sinensis* na obtenção de óleo essencial para controle do *Aedes aegypti*. *Revista Fitos*, 18(Suppl. 3), e1585-e1585, 2024.

YETUKURI, K., UMASHANKAR, M., Application of Nanotechnology to Enhance the Effectiveness and Stability of Essential Oils. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, Vol. 17, Ed. 8, 2024.

ZARA, A., SANTOS, S., OLIVEIRA, E., CARVALHO, R., COELHO, G., Estratégias de controle do *Aedes aegypti*: uma revisão. *Epidemiol. Serv. Saúde*, 25, 391-404, 2016.

Atividade inseticida do óleo essencial das folhas de *Algrizea minor* Faria & Proença no combate aos insetos-praga *Sitophilus zeamais* Most. 1855 e *Nasutitermes corniger* Most. 1855

Fernanda Maria Amorim dos Santos¹, Patryck Érmerson Monteiro dos Santos¹, João Victor de Oliveira Alves¹, Patrícia Maria Guedes Paiva², Thiago Henrique Napoleão¹, Maria Tereza dos Santos Correia¹, Márcia Vanusa da Silva ¹.

¹ Departamento de Bioquímica, Centro de Ciências da Saúde, Laboratório de Produtos Naturais, Universidade Federal de Pernambuco, 50670-420, Recife, Pernambuco, Brasil.

² Departamento de Bioquímica, Centro de Biociências, Laboratório de Bioquímica de Proteínas, Universidade Federal de Pernambuco, 50670-420, Recife, Pernambuco, Brasil.

Resumo

Este estudo teve como objetivo determinar a composição química e a toxicidade do óleo essencial das folhas de *Algrizea minor* sobre *Sitophilus zeamais* e *Nasutitermes corniger*. Em *S. zeamais*, foram investigados os efeitos do óleo essencial na sobrevivência, alimentação e parâmetros nutricionais de adultos, além da modulação de atividades enzimáticas. Em *N. corniger*, a atividade inseticida do óleo foi avaliada em soldados e operários, por meio de diferentes vias de exposição: contato, fumigação e ingestão. O rendimento foi de 2,67%, e os compostos majoritários foram β -eudesmol (20,93%), α -eudesmol (19,08%), β -pineno (18,49%), seguido de elemol (7,12%) e (E)-cariofileno (6,39%). O óleo essencial exibiu atividade inseticida contra *S. zeamais* após 7 e 15 dias, com CL₅₀ de 30,77 μ L/mL e CL₉₀ de 159,95 μ L/mL. Adicionalmente, o óleo modulou a atividade das enzimas digestivas, como, amilase e tripsina e regulatórias, como acetilcolinesterase, em *S. zeamais*. Em relação a *N. corniger*, o óleo demonstrou ação inseticida em ambas as castas, com mortalidade média de CL₅₀ de 6,51 μ L/g. OEAm desencadeou alterações nas taxas de TCR, TGB e ECAI. O estudo revelou que o óleo essencial de *A. minor* demonstrou atividade inseticida quando ingerido por *S. zeamais* e *N. corniger*, devido à interferência no processo digestório.

Palavras chaves: compostos naturais; Inseticidas; Cupim; Gorgulho

Introdução

O aumento da população mundial intensifica a pressão sobre o meio ambiente, resultando na destruição de ecossistemas e poluição, afetando diretamente o meio ambiente, expondo a intrínseca interconexão entre os sistemas natural e construído. Especificamente no contexto do manejo de insetos, o desequilíbrio ecossistêmico contribui para a proliferação de espécies invasoras, surgimento de doenças e o crescimento desordenado de pragas agrícolas e urbanas, impactando a segurança alimentar, a saúde pública e bem estar social, e desafiando as estratégias de controle (Araújo, 2025; Kudsk et al., 2018).

O controle de pragas tem se baseado, tradicionalmente, na aplicação de inseticidas de origem sintética, agindo principalmente o sistema nervoso dos organismos alvos e não alvos. Contudo, a crescente ocorrência de mutações de resistência a estes compostos tem comprometido sua eficácia, exigindo o emprego de doses e concentrações elevadas, as quais acarretam contaminação ambiental residual, aumento de doenças crônicas e o desafio de controle (Neves, et al; Pereira & Amorim, 2020).

Os insetos desempenham papéis ecológicos cruciais em ambientes naturais, no entanto, algumas espécies causam prejuízos significativos, destacando-se como pragas agrícolas e urbanas (Scudder, 2017). O *Sitophilus zeamais* é considerado a principal praga de grãos armazenados, com potencial de afetar até 90% da safra, gerando grandes perdas econômicas (Muzemu, et al., 2020; Arrahman, et al., 2022) . Já a espécie *Nasutitermes corniger*, um cupim arborícola que, apesar de ser mais comum em áreas naturais, também se prolifera em centros urbanos e domésticos, causando danos em estruturas de madeiras, construções civis e obras de arte (Thorne, 2014). Esses insetos, adaptados a ambientes diversos e altamente resistentes aos métodos de controle convencionais, representam um desafio crescente para a agricultura e a economia (Alvarez, 2016).

Em contraposição aos métodos tradicionais de controle de pragas, o uso de bioativos de origem vegetal como proteínas e metabólitos secundários vem como uma alternativa promissora. Apresentam com baixos riscos à saúde humana, maior especificidade ao alvo, menor toxicidade aos não alvos e contaminação residual

(Santos et al., 2024; Mossa et al., 2016). Os óleos essenciais, são amplamente utilizados em estudos de potencial inseticida, pois são eficazes em doses mais baixas, atuam de forma sinérgica, além de exercerem toxicidade por múltiplos mecanismos de ação (Spletozer et al., 2021; Neto et al., 2025).

Algrizea minor (Myrtaceae), endêmica do Nordeste brasileiro, pode ser encontrada nos biomas Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga (Flora e Funga, 2020). Estudos indicam que seus óleos essenciais apresentam diferentes compostos, principalmente mono e sesquiterpenos como o β - Pineno e γ -eudesmol, além de atividades antimicrobianas, antioxidante, antinociceptiva, gastroprotetora (Veras, et al., 2020; Ribeiro, 2020; Fernandes et al., 2024).

Portanto, o objetivo deste estudo foi determinar a composição química do óleo essencial das folhas de *Algrizea minor* Faria & Proença e investigar sua atividade inseticida contra *Sitophilus zeamais*, avaliando seus efeitos sobre a atividade de enzimas intestinais. Além disso, analisar a toxicidade do óleo essencial contra *Nasutitermes corniger* por meio dos modos de ação por fumigação, ingestão e contato.

Metodologia

1.0 Coleta do material vegetal, obtenção e caracterização do óleo essencial

As folhas de *Algrizea minor* foram coletadas no Parque Nacional do Catimbau, município de Buíque - PE localizado na latitude 8°36'35"(S) e longitude 37°14'40"(W), no mês de junho de 2024. Alguns exemplares da espécie foram depositados, sob a forma de exsicatas, no Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), cujo voucher está registrado sob a numeração PEUFR35193. A coleta do material foi autorizada pelo Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen), sob o código A08E18B.

A extração do óleo essencial foi realizada por um sistema Clevenger modificado, conectado a um balão de fundo redondo de 5 L e uma manta elétrica para aquecimento. As folhas foram secas trituradas e, em seguida, 395 g de material vegetal foram acrescentados a um balão com 3 L de água destilada. A hidrodestilação ocorreu por 4 horas a 100 °C. O óleo obtido foi armazenado em frasco âmbar, hermeticamente fechado e mantido. O rendimento (%) foi determinado com base na matéria seca, utilizando a seguinte fórmula: $R\% = (VO \times MO / MS) \times 100$. Nessa descoberta, R% representa o rendimento em porcentagem, VO é o volume de óleo

em mL, MO corresponde à massa de 1 mL de óleo em gramas, e MS refere-se à massa seca.

A análise química do óleo essencial foi realizada por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (CG/EM) em um equipamento QP 5050A (Shimadzu, Kyoto, Japão) com uma coluna capilar não polar Agilent DB-5ms (50 m × 0,25 mm × 0,25 µm). A temperatura do forno iniciou em 60 °C, aumentando 4 °C/min até atingir 280 °C, onde ocorreu por 15 minutos. O gás hélio foi utilizado de arraste, com fluxo constante de 1 mL/min. A fonte de ionização foi mantida a 280 °C, com energia de 70 eV, e os espectros de massa foram registrados entre 10 e 400 m/z. A análise do óleo foi feita em triplicata, dissolvendo-se uma amostra em diclorometano. Os compostos foram identificados comparando os índices de detecção e padrões de fragmentação com a biblioteca do espectrômetro e dados da literatura (Adams, 2007).

2. Criações de *S. zeamais* e *N. corniger*

A criação de insetos *S. zeamais* foi realizada em recipientes de vidro vedados com tecido organza para permitir aeração. Grãos de milho serviram como substrato nutritivo. Os frascos foram mantidos em câmara climática tipo BOD a 28 ± 2 °C, com fotoperíodo de 24 horas e umidade relativa de aproximadamente $70 \pm 10\%$. Os insetos permaneceram confinados para oviposição e aumento populacional, visando a obtenção de espécimes viáveis para os testes.

Espécimes de *N. corniger* foram coletados em área de Mata Atlântica (8°00'45"S, 34°56'57"W) no campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife–PE (Brasil). Os cupinzeiros foram selecionados por sua condição física, removidos dos troncos e transportados para o laboratório em caixas plásticas. Os espécimes foram mantidos a 27 ± 2 °C até a separação das castas (operários e soldados) e transferência para os bioensaios.

3. Avaliação da toxicidade por ingestão do OEAm em *S. zeamais* e *Nasutitermes corniger*

A toxicidade por ingestão foi avaliada segundo uma adaptação do método de Xie et al. (1996) descrita por Napoleão et al. (2013). O experimento foi realizado em placas de Petri (90 x 15 mm) contendo cinco discos de uma dieta artificial com 1,2 g de farinha de trigo autoclavada (Bunge Alimentos S.A., Benevides, Brasil) e 3,0 mL de

solução do óleo, em diferentes concentrações em Tween 80 a 1% obtendo-se concentrações finais de 10, 25, 50 e 100 $\mu\text{L/g}$ para *S. zeamais*.

As concentrações para *N. corniger* foram de 1,5, 2,5, 5 e 10 $\mu\text{L/g}$, na diluição foi utilizado o OEAm puro, com 0,6g de Avicel combinado com cupinzeiro moído (0,03g), diluído em diferentes concentrações em Tween 80 a 1%, obtendo 1000 μL da mistura e 20 insetos em cada placa sendo esses, 16 operários e 4 soldados.

O controle correspondeu a discos de farinha diluídos em 1000 $\mu\text{L/g}$ de água destilada e DMSO a 1%. Após 7 dias de experimento, foram avaliados o peso das placas de Petri e dos insetos e a taxa de mortalidade foi determinada após 7 e 15 dias.

Foi determinado a taxa de mortalidade e os seguintes parâmetros nutricionais (Xie et al., 1996): (a) Taxa de consumo relativo = $A/(B \times \text{dias})$, em que A é a massa de alimento ingerido em mg e B corresponde à biomassa inicial do inseto em mg; b) Taxa relativa de ganho de biomassa = $C/(B \times \text{dias})$, em que C corresponde à biomassa adquirida/perdida pelos insetos em mg; (c) Eficiência na conversão de alimentos ingeridos = $C/(A \times 100)$. O índice de deterrencia alimentar (IDA) foi calculado através da seguinte expressão: $\text{IDA} (\%) = [100 \times (CC - CT)] / (CC)$, onde CC representa a quantidade de massa consumida no grupo controle e CT a quantidade de massa consumida no grupo tratado. Com base nos valores de IDA, o efeito da amostra foi classificado em: não-deterrente ($\text{IDA} < 20\%$), deterrente fraco ($50\% > \text{IDA} \geq 20\%$), deterrente moderado ($70\% > \text{IDA} \geq 50\%$) ou deterrente forte ($\text{IDA} \geq 70\%$) (Liu et al., 2007).

3.1 Avaliação do efeito do OEAm sobre as enzimas digestivas do intestino e acetilcolinesterase dos adultos de *S. zeamais*

Cinquenta adultos de *S. zeamais* foram imobilizados por resfriamento a -20°C por 10 minutos. Os insetos foram então macerados e homogeneizados em tampão acetato de sódio ou Tris -HCl e centrifugados a 9.0000 RPM e 10 minutos. O extrato em tampão acetato foi utilizado para ensaios de atividade de α -amilase, enquanto o extrato em tampão Tris -HCl foi utilizado para determinar a atividade de tripsina.

Extrato de intestino em tampão acetato (0,6 mg de proteína) ou Tris (2,13 mg de proteína) foi incubado (10 min) com óleo essencial de folhas de *A. minor* com os valores CL_{50} e CL_{90} ($\mu\text{L/mL}$) obtidos e posteriormente foram determinadas as concentrações correspondentes das atividades enzimáticas. Ensaios controle com

ausência do substrato (branco controle) e do óleo (100% enzimático) foram incluídos em todos os experimentos.

A avaliação da atividade de tripsina foi realizada com base no método proposto por Kakade et al. (1969). Extrato de intestino (100 μ L) foi incubado (1 h a 37 °C) com 100 μ L de tampão Tris e 15 μ L de N-benzoil-DL-arginil-p-nitroanilida (BapNA) 8 mM. Em seguida, a absorbância foi medida a 405 nm. Uma unidade de atividade da tripsina foi definida como a quantidade de enzima que hidrolisam 1 μ mol de BApNA por minuto.

A atividade de α -amilase foi determinada de acordo com a metodologia de Bernfeld (1955), adaptada por Lima et al. (2016). A reação foi iniciada pela incubação de 100 μ L do extrato de intestino de *S. zeamais* com 400 μ L de solução de amido 1% em acetato de sódio 0,1 M pH 5,5 contendo NaCl 0,15 M, durante 10 minutos a 50°C. A reação foi interrompida com a adição de 500 μ L de ácido 3,5-dinitrosalisílico (DNS), seguida de aquecimento a 100°C por 6 minutos e resfriamento em gelo por 15 minutos. A absorbância foi medida a 540 nm, e a quantidade de açúcares redutores foi determinada por meio de uma curva padrão de glicose. Uma unidade enzimática foi definida como a quantidade de enzima necessária para gerar 1 μ mol de glicose por minuto.

A atividade da AChE foi definida usando microtubos de 2,0 mL. Inicialmente incubados com 10 μ L do extrato de intestino de *S. zeamais* com 10 μ L fosfato de potássio 0,1 M, pH 7,5, e 20 μ L de iodeto de acetiltiocolina 7,5 mM (Sigma-Aldrich). Após 10 minutos foi adicionado 200 μ L de DTNB (ácido 5,5'-ditiobis-2-nitrobenzóico, 0,8 mM; Sigma-Aldrich) e o ensaio foi incubado por 3 min a 25 °C. A liberação de tiocolina foi monitorada medindo a absorbância a 405 nm no tempo 0 e após 3 min. Uma unidade de atividade de AChE foi definida como a quantidade de enzima necessária para hidrolisar 1 μ mol de acetiltiocolina por minuto.

4. Resultados e discussão

A extração do OEAm obtido das folhas, coletada no mês de junho, no qual marca o fim do período chuvoso e do aumento gradual das temperaturas (Weather Spark, 2025), apresentou rendimento calculado de R% = 2,67%, desempenho muito superior quando comparado a outras espécies da família Myrtaceae, como *Psidium myrtoides* na qual foi obtido um rendimento de 0,47% do seu OE (Dias, et al., 2024),

Myrcia palustris com 0,35% (Santos, et al., 2021). Outro estudo extraiu OE do fruto de *Myrcia guianensis*, obtendo um alto rendimento de 1,01% (Filho, et al., 2020). Analisando os trabalhos análogos com *A. minor* disponíveis na literatura, o estudo de Soares et al., (2023) apresentou rendimento de $1,32 \pm 0,19\%$, não forneceu dados sobre época de coleta. Outro estudo com OEAm, com coleta feita em março (período chuvoso), apresentou rendimento de 0,57% (Fernandes, et al., 2024). Veras et al., 2019 não relataram rendimento obtido do OEAm. A produção, quantidade e qualidade do óleo essencial podem ser influenciadas por fatores ambientais que induzem modificações bioquímicas e fisiológicas na planta (Ferronato & Rossi, 2018).

No presente estudo, vinte e dois componentes foram identificados pela análise GC-MS (Tabela 1), representando 99,68% do teor total do óleo. Os compostos majoritários do OEAm foram β -eudesmol (20,93%), α -eudesmol (19,08%), β -pineno (18,49%), seguido de elemol (7,12%) e (E)-cariofileno (6,39%). Geralmente caracterizados em maior teor, os monoterpenos obtiveram 21,59%, enquanto novos sesquiterpenos foram identificados em *A. minor* como componentes majoritários, representando 78,41% dos compostos. Resultados semelhantes a Silva (2018), onde γ -eudesmol (7,67%), biciclogermacreno (7,41%) representaram como majoritários, logo após do β -pineno (10%) que ainda aparece em maior proporção.

Diferente do resultado obtido, outros estudos com *A. minor* relataram a presença de diferentes compostos principais como β -Pineno com variação de 55,87 a 66,99%, α -Pineno (6,57 a 17,89%) e Biciclogermacreno e Germacreno D disputando o terceiro lugar (6,26 a 4,67%) com a predominância de monoterpenos (Fernandes, 2024; Soares, 2023; Veras, 2019). Essa variação de componentes secundários e de rendimentos das plantas é influenciada principalmente por fatores sazonais (Claro et al., 2024).

Estudos com *A. macrochlamys* apresentaram sesquiterpenos (E)-cariofileno, γ -eudesmol e β -eudesmol como majoritários, tendo atividade inseticida na ação de retardamento na eclosão de ovos de insetos vetores de doenças e ação antimicrobiana (Ribeiro; Silva 2020). O rendimento e a composição química de OE estão diretamente relacionadas ao método de extração, local e horário de coleta, sazonalidade, fatores bióticos e abióticos, quimiotipo e idade da planta (Costa, 2022; Gonzalez, 2021).

Tabela 1: Composição química do óleo essencial das folhas de *A. minor*.

Pico	Composto	RI ^b	RI ^c	%	SD	Fórmula	Class
1	α -pineno	932	927	0,53	0,03	C ₁₀ H ₁₆	MH
2	β-pineno	974	968	18,49	0,45	C ₁₀ H ₁₆	MH
3	limoneno	1024	1020	0,39	0,02	C ₁₀ H ₁₆	MH
4	terpineno-4-ol	1174	1168	1,73	0,60	C ₁₀ H ₁₈ O	OM
5	α -terpineol	1186	1182	0,44	0,01	C ₁₀ H ₁₈ O	OM
6	β -elemeno	1389	1385	0,94	0,02	C ₁₅ H ₂₄	SH
7	(E)-cariofileno	1417	1412	6,39	0,15	C ₁₅ H ₂₄	SH
8	α -humuleno	1452	1446	1,48	0,03	C ₁₅ H ₂₄	SH
9	Germacreno D	1480	1474	5,86	0,12	C ₁₅ H ₂₄	SH
10	bicyclogermacreno	1500	1489	1,77	0,15	C ₁₅ H ₂₄	SH
11	germacreno A	1508	1497	1,96	0,10	C ₁₅ H ₂₄	SH
12	δ -cadineno	1522	1516	2,79	0,06	C ₁₅ H ₂₄	SH
13	elemol	1548	1544	7,12	0,16	C ₁₅ H ₂₆ O	SH
14	germacreno B	1559	1550	1,95	0,04	C ₁₅ H ₂₄	SH
15	spathulenol	1577	1571	2,20	0,08	C ₁₅ H ₂₄ O	SO
16	óxido caryophylleno	1582	1577	1,27	0,06	C ₁₅ H ₂₄ O	SO
17	guaiol	1600	1591	1,08	0,04	C ₁₅ H ₂₆ O	SO
18	5-epi-7-epi- α -eudesmol	1607	1613	1,14	0,36	C ₁₅ H ₂₆ O	SO
19	10-epi- γ -eudesmol	1622	1629	1,74	0,05	C ₁₅ H ₂₆ O	SO
20	β-eudesmol	1649	1646	20,93	0,51	C ₁₅ H ₂₆ O	SO
21	α-eudesmol	1652	1650	19,08	0,98	C ₁₅ H ₂₆ O	SO
22	valerianol	1656	1660	0,38	0,01	C ₁₅ H ₂₆ O	SO
Número total de compostos identificados				99,68			
Monoterpenos de hidrocarbonetos (MH)				19,42			
Monoterpenos oxigenados (MO)				2,17			
Sesquiterpenos de hidrocarbonetos (SH)				23,14			
Sesquiterpenos oxigenados (SO)				54,95			

RIa -Índice de retenção relativo à série de n-alcanos C9-C30 em coluna capilar DB-5 de 30 m.
 RIb Identificação dos Componentes do Óleo Essencial por Cromatografia Gasosa/Espectrometria de Massas. (Adams, 2007); % = Área do composto relativa ao óleo essencial; DP = Desvio Padrão.

Nos ensaios de toxicidade por ingestão com *Sitophilus zeamais*, o OEAm demonstrou atividade deterrente em diversas concentrações testadas (25, 50, 75 e 100 μ L/mL), demonstrando uma CL₅₀ de 30,77 μ L/mL e CL₉₀ de 159,95 μ L/mL.

Contudo, a elevada taxa de mortalidade observada após 7 dias dos insetos, impediu a obtenção de dados consistentes para a determinação de parâmetros nutricionais e a realização de análises estatísticas consistentes. Entretanto, foram realizados testes de avaliação do efeito do OEAm sobre as enzimas digestivas, com resultados satisfatórios, além do efeito sob o sistema colinérgico, por meio da enzima AChE.

OEAm apresentou ação inibitória sobre as enzimas testadas. Foi observada uma relação inversa entre a concentração do óleo essencial e a atividade das enzimas tripsina, AchE e α -amilase, com a magnitude da inibição proporcional à concentração, (Tabela 2). Moléculas que modulam a atividade catalítica de enzimas digestivas ou regulatórias, seja por ativação ou inibição, induzem disfunções na homeostase intestinal e neuronal de insetos, resultando em alterações metabólicas e neurotóxicas que resultam em mortalidade (de Lira Pimentel; De Souza, et al., 2022)

A taxa de disfunção significativa das enzimas tripsina e amilase pode resultar em óbito do inseto, ao prejudicar a hidrólise de proteínas e carboidratos, limitando a assimilação de nutrientes e afetando negativamente a viabilidade e desenvolvimento (Camarotti et al., 2018). OEAm também apresentou resultados toxicológicos na atividade inibitória da enzima AchE, embora que em menor extensão. A inibição desta enzima é um mecanismo amplamente reconhecido como envolvido na atividade inseticida de óleos essenciais (de Souza, et al., 2022).

Tabela 2: Efeito do OEAm sobre enzimas do sistema digestório e colinérgico do *S. zeamais*.

Enzimas	Atividade (mU/mg)				
	Controle	CL50	CL90	Inibição (%) CL50	Inibição (%) CL90
Tripsina	0,009 $\pm$ 0,0033	0,007 $\pm$ 0,0013	0,007 $\pm$ 0,0036	100%	100%
AchE	0,543 $\pm$ 0,0075	0,0433 $\pm$ 0,0262	0,0295 $\pm$ 0,0098	20%	45%
α -amilase	0,4202 $\pm$ 0,0435	0,3686 $\pm$ 0,0203	0,3431 $\pm$ 0,0345	81%	87%

Foi analisado o efeito tóxico do OEAm pela via de contato direto e indireto, além de fumigação contra o *S. zeamais*, ambos testes não apresentaram taxa de toxicidade relevante.

A exposição oral do OEAm demonstrou efeitos deletérios na sobrevivência de *N. corniger* após 7 e 15 dias de avaliação. A toxicidade do óleo foi evidenciada pela determinação da CL₅₀ de 6,51 µL/g, utilizando uma matriz composta por celulose microcristalina e cupinzeiro moído, após 15 dias de ensaio. A aplicação da dose mais elevada (10 µL/g) resultou em uma taxa de mortalidade de 70% na população de insetos adultos.

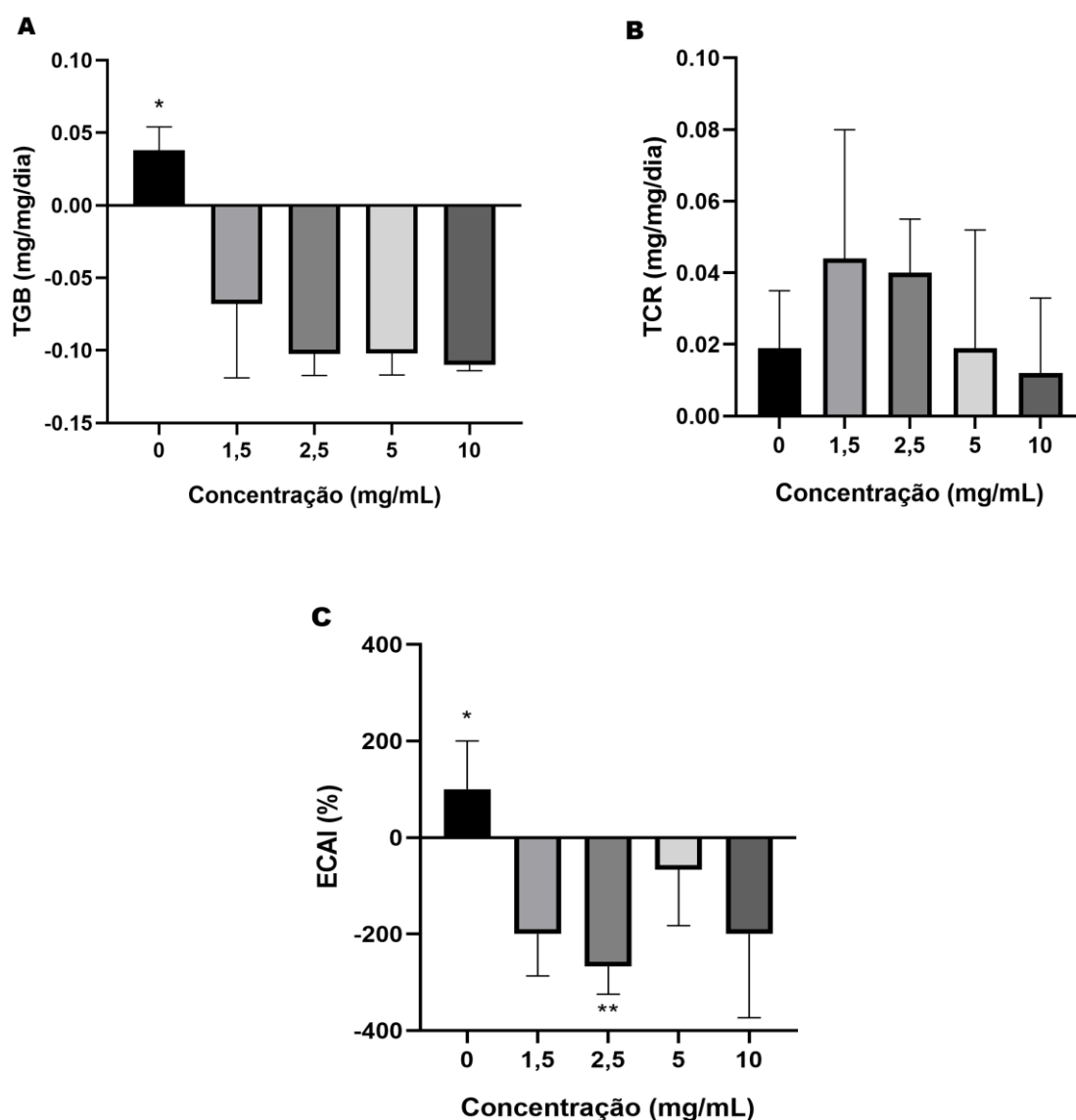
O cálculo do Índice de Deterrência Alimentar (IDA) revelou que o óleo essencial demonstrou na concentração mais elevada um efeito deterrente moderado, com valor de 67%. Em contrapartida, a concentração mais baixa testada apresentou um IDA de -33%, sugerindo o aumento do consumo. No entanto, independentemente da resposta inicial, ambas as concentrações resultaram em uma diminuição do consumo alimentar pelos insetos adultos, demonstrando o potencial do óleo essencial em modular o comportamento alimentar de *N. corniger*.

Os resultados referentes aos parâmetros nutricionais, especificamente as taxas de consumo relativo, revelam um padrão bifásico de resposta de *N. corniger* à exposição oral ao OEAm (Figura 1B). Nas menores concentrações testadas, observou-se o aumento do consumo, sugerindo que, em doses baixas, o OEAm pode estimular a alimentação dos insetos. Essa aparente palatabilidade inicial pode ser atribuída à presença de compostos voláteis no óleo, que possivelmente atuam como atrativos químicos. No entanto, à medida que as concentrações de OEAm aumentam, o efeito observado se inverte, manifestando-se como deterrente. Essa transição indica uma resposta dose-dependente, na qual a alta concentração de compostos bioativos presentes no óleo essencial exerce um efeito repulsivo ou tóxico sobre os insetos, inibindo sua alimentação. A deterrência observada nos maiores tratamentos pode ser atribuída a compostos presentes no óleo que afetam o sistema gustativo dos insetos, tornando o alimento menos palatável, ou ainda a compostos que causam toxicidade e consequentemente diminuem a alimentação.

Apesar da variação no consumo relativo, a taxa de ganho de biomassa, em todos os tratamentos contendo OEAm houveram perda na redução da massa corporal, contrastando com o controle, no qual a biomassa se manteve positiva (Figura1A). Assim como na eficiência de conversão de alimento (Figura1C) Esse declínio sugere que, independentemente da atratividade ou deterrência inicial, o OEAm interfere negativamente na capacidade dos insetos de converter o alimento ingerido em biomassa. Essa interferência pode ser resultado de diversos fatores, como a disfunção

digestiva, afetando as enzimas do sistema digestório e comprometendo a quebra e absorção de nutrientes, o efeito tóxico sistêmico, onde pode afetar diretamente o metabolismo, resultando em perda de peso, ou o aumento do gasto energético na tentativa de desintoxicação dos compostos químicos voláteis do óleo (Dias & D'Auria, 2025).

Figura 1: Parâmetros nutricionais de operários e soldados de *N. corniger*, em dieta controlada contendo OEAm (1,5, 2,5, 5 e 10 $\mu\text{L/g}$ de avicel e cupinzeiro moído). Taxa relativa de ganho de biomassa expressa o aumento da biomassa (mg) do inseto em relação ao seu peso inicial (mg) por dia (A); Taxa de consumo relativo expressa a quantidade de alimento consumido (mg) em relação ao seu peso corporal (mg) por dia (B); Eficiência de conversão alimentar expressa a proporção do alimento ingerido convertido em biomassa ou tecido corporal (%) (C).



A combinação da deterência em altas concentrações e a perda de biomassa em todas as concentrações sugere que o OEAm possui um potencial inseticida relevante, atuando tanto por meio da inibição da alimentação quanto por efeitos tóxicos sistêmicos. Estudos futuros poderiam investigar comportamento e mecanismos específicos pelos quais o OEAm interfere na fisiologia de *N. corniger*, como a atividade de enzimas digestivas e o metabolismo energético, para melhor compreender seu modo de ação.

5. Conclusão

O óleo essencial de *A. minor* é constituído majoritariamente por sesquiterpenos como β -eudesmol e α -eudesmol, diferentemente dos estudos anteriormente publicados, ressaltando a influência de fatores bióticos e abióticos sobre os metabólitos secundários. O potencial inseticida do OEAm contra importantes pragas agrícolas e urbanas, como *Sitophilus zeamais* e *Nasutitermes corniger* foi demonstrado no presente estudo. A toxicidade observada por ingestão, aliada à modulação de enzimas digestivas e regulatórias, sugere um mecanismo de ação multifacetado do OEAm. Tais achados reforçam a relevância da investigação de compostos naturais como alternativas promissoras para o controle de insetos pragas, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias de manejo mais sustentáveis e eficazes.

Referências

- Alvarez, S. (2016). Custos econômicos potenciais de pragas estruturais invasoras: cupins conehead, *Nasutitermes corniger*, na Flórida †. *Journal of Environmental Planning and Management*, 59 (12), 2145–2162. <https://doi.org/10.1080/09640568.2015.1130689>
- Arrahman, A., Mirsam, H., Djaenuddin, N., Pakki, S., Saenong, M. S., & Sebayang, A. (2022, December). An in-depth study on *Sitophilus zeamais* Motsch (Coleoptera: Curculionidae) pests on corn plants. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1107, No. 1, p. 012060). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1107/1/012060>
- Camaroti, J. R. S. L., de Almeida, W. A., do Rego Belmonte, B., de Oliveira, A. P. S., de Albuquerque Lima, T., Ferreira, M. R. A., ... & Napoleão, T. H. (2018). *Sitophilus zeamais* adults have survival and nutrition affected by *Schinus terebinthifolius* leaf extract and its lectin (SteLL). *Industrial crops and products*, 116, 81-89. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.065>

Costa, A. V., Parreira, L. A., Profeti, L. P. R., & Campos, O. S. Tópicos Especiais em Agroquímica, 2022.

Claro, R. O., Rivero-Wendt, C. L. G., de Oliveira, A. K. M., Pedrinho, D. R., Bono, J. A. M., & Matias, R. (2024). Efeitos da Sazonalidade e da Adubação na Composição Química de Genipa americana L. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, 28(2), 209-217.

da Silva Neto, I. F., dos Santos, Í. T., Barbosa, F. E. V., & Tintino, S. R. (2025). SÍNTESE DAS ATIVIDADES INSETICIDAS DO MONOTERPENO TIMOL SOBRE O *Aedes aegypti*. *Revista Interação Interdisciplinar* (ISSN: 2526-9550), 7, 1-12. <https://doi.org/10.35685/revintera.v7i1.3013>

de Lira Pimentel, C. S., Albuquerque, B. N. D. L., da Rocha, S. K. L., da Silva, A. S., da Silva, A. B. V., Bellon, R., ... & Navarro, D. M. D. A. F. (2022). Insecticidal activity of the essential oil of *Piper corcovadensis* leaves and its major compound (1-butyl-3, 4-methylenedioxybenzene) against the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Pest Management Science*, 78(3), 1008-1017. <https://doi.org/10.1002/ps.6712>

de Menezes Filho, A. C. P., de Sousa, W. C., & de Souza Castro, C. F. (2020). Composição química, físico-química e atividade antifúngica dos óleos essenciais da flor e do fruto de *Myrcia guianensis* (Aubl.) DC. *Revista Principia-Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB*, (52), 92-104. <https://doi.org/10.18265/1517-0306a2020v1n52p92-104>

de Souza, L., Cardoso, M. d. G., König, I. F. M., Ferreira, V. R. F., Caetano, A. R. S., Campolina, G. A., & Haddi, K. (2022). Toxicity, Histopathological Alterations and Acetylcholinesterase Inhibition of *Illicium verum* Essential Oil in *Drosophila suzukii*. *Agriculture*, 12(10), 1667. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101667>

Dias, A. L. B., Alves, C. C. F., Silva, F. F. A. D., Neto, G. P. D. S., & Santos, L. S. (2024). ÓLEO ESSENCIAL DAS FOLHAS DE *PSIDIUM MYRTOIDES* O. BERG: TEOR E HISTOQUÍMICA DAS ESTRUTURAS SECRETORAS. In *CIÊNCIAS AGRÁRIAS: TECNOLOGIA, SUSTENTABILIDADE E INOVAÇÃO-VOLUME 2* (Vol. 2, pp. 104-113). Editora Científica Digital.

Dias, S. L., D'Auria, J. C. The bitter truth: how insects cope with toxic plant alkaloids, *Journal of Experimental Botany*, Volume 76, Issue 1, 1 January 2025, Pages 5–15. <https://doi.org/10.1093/jxb/erae312>

Fernandes, P. H. E., Alves, C. D. S. C., da Silva Almeida, J. R. G., de Veras, B. O., & da Silva, M. V. (2024). Development of a gastroprotector from *Algrizea minor* essential oil complexed with β -Cyclodextrin. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 94, 105505. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2024.105505>

Ferronato, A.N.; Rossi, R.C. Extração e aplicação do óleo essencial da casca da laranja como um ingrediente natural. *Estudos Tecnológicos em Engenharia*, São Leopoldo, v.12, n.2, p.78-93, 2018.

Myrtaceae in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB171>>. Acesso em: 08 fev. 2025

Henrique ribeiro de araujo, G. Desequilíbrio ambiental e a pandemia: o exercício contínuo da cidadania. Guia Universitário de Informações Ambientais, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 27–28, 2021. Disponível em: <https://www.revistaguia.ufscar.br/index.php/quia/article/view/55>. Acesso em: 14 fev. 2025.

Scudder, Geoffrey GE. "The importance of insects." *Insect biodiversity: science and society* (2017): 9-43. <https://doi.org/10.1002/9781118945568.ch2>

Kudsk P, Jørgensen LN, Ørum JE. Pesticide Load—A new Danish pesticide risk indicator with multiple applications. *Land Use Policy*. 2018;70:384–393. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.11.010>

Mossa, A. T. H. (2016). Green pesticides: Essential oils as biopesticides in insect-pest management. *Journal of environmental science and technology*, 9(5), 354.

Muzemu, S., Chitamba, J., & Goto, S. (2013). Triagem de grãos de variedades de milho armazenado (*Zea mays* L.) para tolerância contra o gorgulho do milho, *Sitophilus zeamais* (Motsch.). *International Journal of Plant Research*, 3 (3), 17-22. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i13.33575>

Neves, P. D. M., Mendonça, M. R., Bellini, M., & Pôssas, I. B. (2020). Intoxicação por agrotóxicos agrícolas no estado de Goiás, Brasil, de 2005-2015: análise dos registros nos sistemas oficiais de informação. *Ciência & Saúde Coletiva*, 25(7), 2743-2754. <https://doi.org/10.1590/1413-81232020257.09562018>

Pereira, L. N., & Amorim, J. G. B. (2020). Condições de segurança do trabalho no manuseio de agrotóxicos em pequenas propriedades de agricultura familiar. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 11(7), 349-364.

Ribeiro, I. A. T. D. A. (2020). Óleos essenciais de *Croton rudolphianus* e *Algrizea macrochlamys* no combate à doenças negligenciadas: esquistossomose e dengue. Tese de doutorado, Universidade Federal de Pernambuco. <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/38475>

Santos, CV dos.; Mallaman, et al. Composição química, atividade antimicrobiana e antioxidante do óleo essencial de folhas de *Myrcia palustris* DC. (MYRTACEAE). Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, [S. l.], v. 3, pág. e20510313303, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13303>.

Santos, L. G. P. S., Costa, B. A. M., et al. (2024). Plant-Based Insecticides for Control of *Aedes aegypti*, *Sitophilus zeamais* and *Nasutitermes corniger*: A Review and Bibliometric Analysis. *Advances in Research*, Volume 25, Issue 3, Page 159-174. <https://doi.org/10.9734/AIR/2024/v25i31062>

Silva, Rosimere da. Análise da composição química e potencial bactericida de três óleos essenciais da família Myrtaceae: potencial moluscicida e leishmanicida do óleo essencial de *Algrizea minor*. Universidade Federal de Pernambuco Teses de Doutorado - Ciências Biológicas 2018 <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/32438>

Spletozer, A. G., Santos, C. R. D., Sanches, L. A., & Garlet, J. (2021). Plantas com potencial inseticida: enfoque em espécies amazônicas. *Ciência Florestal*, 31(2), 974-997. <https://doi.org/10.5902/1980509832244>

Thorne, B. (2024). *Nasutitermes corniger*. CABI Compendium Digital Library. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.36693>

Veras, B. O. et al. *Algrizea Minor* Sobral, Faria & Proença (Myrteae, Myrtaceae): chemical composition, antinociceptive, antimicrobial and antioxidant activity of essential oil. *Natural Product Research*, 34:20, 3013-3017, 2019. <https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1602832>

5. CONCLUSÃO GERAL:

Os óleos essenciais de *A. minor* coletados em estações do ano diferentes (fevereiro e junho), apresentaram divergências significativas no rendimento do OE de 0,57% e 2,67%, e em sua composição química, quanto a majoritariedade das classes de compostos, como os monoterpenos e sesquiterpenos. Foram em torno de β -pineno, α -pineno, β -eudesmol, α -eudesmol e (E)-cariofileno. Ambas coletas apresentaram atividades inseticidas expressivas. É possível classificar o OEAm eficiente por exibir boa atividade larvicida e dissuasora contra *A. aegypti*, assim como, potencial tóxico contra gorgulho do milho por meio da via digestiva e seus efeitos no sistema colinérgico, e deletério sobre os cupins por toxicidade via ingestão. Os resultados obtidos neste estudo demonstram a promissora perspectiva de utilização experimental destes óleos essenciais para o manejo de insetos.

6. REFERÊNCIAS

1. Alvarez, S. (2016). Custos econômicos potenciais de pragas estruturais invasoras: cupins conehead, *Nasutitermes corniger*, na Flórida. *Journal of Environmental Planning and Management*, 59 (12), 2145–2162. <https://doi.org/10.1080/09640568.2015.1130689>
2. Amaral, E.L; Figueroa, K.C.P, et al. Ciência Agrícola, Rio Largo, v. 20, e14488, 2022, Simpósio em Proteção de Plantas. Preferência hospedeira de *Sitophilus zeamais*(Coleoptera: Curculionidae) em variedade de milho. <https://www.seer.ufal.br/index.php/revistacienciaagricola/article/view/14488>

3. Antunes, L.R.; Junqueira, L.R. et al. Derrogação para uso de Fipronil em florestas certificadas FSC no Brasil. Documentos Técnicos IPEF, v. 3, n. 3, p.1-23, 2016
4. Anulika, NP, Ignatius, EO, Raymond, ES, Osasere, OI, & Abiola, AH (2016). The chemistry of natural product: Plant secondary metabolites. *Int. J. Technol. Enhanc. Emerg. Eng. Res* , 4 (8), 1-9.
5. Aziz, Z. A., Ahmad, A., Setapar, S. H. M., Karakucuk, A., Azim, M. M., Lokhat, D., ... & Ashraf, G. M. (2018). Essential oils: extraction techniques, pharmaceutical and therapeutic potential-a review. *Current drug metabolism*, 19(13), 1100-1110. <https://doi.org/10.2174/1389200219666180723144850>
6. Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils—a review. *Food and chemical toxicology*, 46(2), 446-475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
7. Bezerra, A. L., Milfont, M. de O., et al., (2023). Bioatividade de inseticidas sintéticos e biológico sobre abelhas africanizadas do nordeste brasileiro. *Contribuciones a las Sociales*, 16(11), 27785–27802. <https://doi.org/10.55905/revconv.16n.11-181>
8. Boletim Epidemiológico, Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente, *Ministério da Saúde*. Volume 55 | N.º 11 | 4 Jul. 2024.
9. Botton, M.; Lorini, I.; Loeck, A. E.; Afonso, A. P. S. O gorgulho do milho *Sitophilus zeamais* (Coleptera: Curculionidae) como praga em frutíferas de clima temperado. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho. Circular técnica, n. 58, 2005.
10. Boulogne, I., Constantino, R., Amusant, N. et al. Ecologia de cupins do gênero *Nasutitermes* (Termitidae: Nasutitermitinae) e potencial para desenvolvimento baseado em ciência de programas de manejo sustentável de pragas. *J Pest Sci* **90** , 19–37 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10340-016-0796-x>
11. Brito, A. M. G. Rodrigues, S. A., Brito, R. G. Xavier-Filho, L. (2013). Aromatherapy: from genesis to today. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 15, 789-793.
12. Brito, V.D, Achimón, F., Pizzolitto, R.P et al. Uma alternativa para reduzir o uso do inseticida sintético contra o gorgulho do milho *Sitophilus zeamais* por meio da ação sinérgica dos óleos essenciais de *Pimenta racemosa* e *Citrus sinensis* com clorpirifós. *J Pest Sci* 94 , 409–421 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10340-020-01264-0>
13. Caneppele, M. A. B.; Andrade, P. D. J.; Santaella, A. G. Different dosages of inert dust and temperatures in storage corn for control of maize weevil. *Scientia Agraria*, v. 11, n. 4, p. 343-347, 2010.
14. Carpena, M., Nuñez-Estevez, B., Soria-Lopez, A., Garcia-Oliveira, P., & Prieto, MA (2021). Óleos essenciais e sua aplicação em sistemas de embalagem ativos: Uma revisão. *Recursos* , 10 (1), 7. <https://doi.org/10.3390/resources10010007>

15. Carvalho, M. M. X. D., Nodari, E. S., & Nodari, R. O. (2017). "Defensivos" ou "agrotóxicos"? História do uso e da percepção dos agrotóxicos no estado de Santa Catarina, Brasil, 1950-2002. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, 24(1), 75-91. <https://doi.org/10.1590/S0104-59702017000100002>
16. Carvalho, Miguel Mundstock Xavier de, Eunice Sueli Nodari, and Rubens Onofre Nodari. "'Defensives" or "pesticides"? A history of the use and perception of pesticides in the state of Santa Catarina, Brazil, 1950-2002." *História, Ciências, Saúde-Manguinhos* 24 (2017): 75-91. doi.org/10.1590/S0104-59702017000100002
17. Casida JE, Durkin KA. Neuroactive Insecticides: Targets, Selectivity, Resistance, and Secondary Effects. *Annu Rev Entomol.* 2013;58(1):99–117. Available: <https://doi.org/10.1146/annurevento-120811-153645>
18. Costa, A. V., Parreira, L. A., Profeti, L. P. R., & Campos, O. S. Tópicos Especiais em Agroquímica, 2022
19. da Costa Melo, Í. F., Júnior, J. B. B. N., & Tavares, J. P. F. (2021). EFEITO FUNGICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Zingiber officinale* em *Corynespora cassicola*. *Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente*, 2(1), 33-33.
20. da Silva Rivas, A. C., Lopes, P. M., de Azevedo Barros, M. M., Costa Machado, D. C., Alviano, C. S., & Alviano, D. S. (2012). Biological activities of α -pinene and β -pinene enantiomers. *Molecules*, 17(6), 6305-6316.
21. de Amorim, MS, Verdan, MH, Oliveira, CS, & Santos, AD (2024). Óleos essenciais de espécies neotropicais de Myrtaceae de 2011 a 2023: Uma atualização. *Química & Biodiversidade*, e202401503. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202401503>
22. de Carvalho, Z. S. (2023). Potencial fitoquímico dos óleos essenciais: exploração e aplicações. *Boletim Científico Agrônomo do CCAAB/UFRB*, 1(e2254), e2254. Disponível em: <https://ufrb.edu.br/ccaab/bol-etim-cientifico-agronomicodo-ccaab-volume1/2254-2254-pdf>
23. de Souza Martins Braga, Valéria. Universidade de Lisboa (Portugal) ProQuest Dissertations & Theses, 2020. 31619860.
24. de Veras, B. O., Dos Santos, Y. Q., Oliveira, F. G. D. S., Almeida, J. R. G. D. S., da Silva, A. G., Correia, M. T. D. S., ... & da Silva, M. V. (2020). Algrizea Minor Sobral, Faria & Proença (Myrteae, Myrtaceae): chemical composition, antinociceptive, antimicrobial and antioxidant activity of essential oil. *Natural product research*, 34(20), 3013-3017. <https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1602832>
25. Dukare, AS, Paul, S., Nambi, VE, Gupta, RK, Singh, R., Sharma, K., & Vishwakarma, RK (2019). Exploração de antagonistas microbianos para o controle de doenças pós-colheita de frutas: uma revisão. *Revisões críticas em ciência alimentar e nutrição*, 59 (9), 1498-1513. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1417235>

26. El-Nahhal, I., & El-Nahhal, Y. (2021). Pesticide residues in drinking water, their potential risk to human health and removal options. *Journal of Environmental Management*, 299, 113611. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113611>
27. Falleh, H., Jemaa, M. B., Saada, M., & Ksouri, R. (2020). Essential oils: A promising eco-friendly food preservative. *Food chemistry*, 330, 127268. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127268>
28. Fernandes, P. H. E., Alves, C. D. S. C., da Silva Almeida, J. R. G., de Veras, B. O., & da Silva, M. V. (2024). Development of a gastroprotector from *Algrizea minor* essential oil complexed with β -Cyclodextrin. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 94, 105505. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2024.105505>
29. Ferreira, E. V. O.; Martins, V.; Inda-Junior, A. V. et al. Ação dos térmitas no solo. *Cienc. Rural*, v. 41, n. 5, p. 804- 811, 2011.
30. FERREIRA, Luiz Octávio Gonzales, DIVERSIDADE QUÍMICA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS DE PLANTAS EXÓTICAS e NATIVA COM POTENCIAL NO CONTROLE SUSTENTÁVEL DE PRAGAS AGRÍCOLAS, tese <https://repositorio.pgsscogna.com.br//handle/123456789/65794> 2023
31. Fierascu, RC, Fierascu, IC, Dinu-Pirvu, CE, Fierascu, I., & Paunescu, A. (2020). A aplicação de óleos essenciais como pesticidas de próxima geração: desenvolvimentos recentes e perspectivas futuras. *Zeitschrift für Naturforschung C* , 75 (7-8), 183-204. <https://doi.org/10.1515/znc-2019-0160>
32. Fines, B., Roel, A. R., & Penteado-Dias, A. M. (2024). Insetos parasitoides nativos no controle biológico de pragas como base para agricultura sustentável. *REVISTA DELOS*, 17(60), e2337-e2337. <https://doi.org/10.55905/rdelosv17.n60-109>
33. Garavazo, F., Patroni, B. H., & de Carvalho Balieiro, C. (2020). Comparativo do controle biológico e químico de *Spodoptera frugiperda* na cultura do milho. *Revista Ensaios Pioneiros*, 4(1), 89-98.
34. Gazal, V., Bailez, O., Viana-Bailez, AM, Menezes, EDLA, & Menezes, EB (2012). Madeira podre afetando a atração do cupim arboreto *Nasutitermes corniger* (Isoptera: Termitidae) para recursos alimentares. *Sociobiologia* , 59 (1), 287-295. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v59i1.684>
35. Gazal, V., Santos, A. B. ., Berber, G. de C. M., Rigueira, G. ., Fernandes, V. ., Souza, T. S. de ., ... Menezes, E. B. . (2023). Nidificação e forrageamento habitual de térmitas (Insecta: Blattodea) em espécies arbóreas . *Scientific Electronic Archives*, 16(3). <https://doi.org/10.36560/16320231678>
36. GOÑI, M. L.; GAÑÁN, N. A.; HERRERA, J. M.; STRUMIA, M. C.; ANDREATTA, A. E.; MARTINI, R. E. Supercritical CO₂ iof LDPE films with terpene ketones as biopesticides

- against corn weevil (*Sitophilus zeamais*). *The Journal of Supercritical Fluids*, v. 122, p. 18-26, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2016.11.017>
37. Gullan, P. J.; Cranston P. S. *Insetos: fundamentos da entomologia*. 5. ed. Rio de Janeiro: Roca, 2017.
 38. Hartke, T. R. (2010). *Breeding strategies and the reproductive ecology of Nasutitermes corniger* (Doctoral dissertation, Northeastern University).
 39. Hayd, RLN, Carrara, L., de Melo Lima, J. *et al.* Avaliação da resistência a aduicidas piretróides e organofosforados e genotipagem *kdr* em populações de *Aedes aegypti* de Roraima, o estado mais ao norte do Brasil. *Parasites Vectors* **13** , 264 (2020). <https://doi.org/10.1186/s13071-020-04127-w>
 40. Stork, N. E. (2018). How many species of insects and other terrestrial arthropods are there on Earth?. *Annual review of entomology*, 63(2018), 31-45. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043348>
 41. Isman, M. B. (2020). Botanical insecticides in the twenty-first century—fulfilling their promise?. *Annual Review of Entomology*, 65(1), 233-249. <https://doi.org/10.1515/znc-2020-0038>
 42. Isman, MB (2020). Inseticidas botânicos no século XXI — cumprindo sua promessa?. *Annual Review of Entomology* , 65 (1), 233-249. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025010>
 43. Jain C, Khatana S, Vijayvergia R. Bioactivity of secondary metabolites of various plants: a review. *Int J Pharm Sci Res.* 2019;5:494–504. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.10\(2\).494-04](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.10(2).494-04)
 44. Jankielsohn, A. (2018) The Importance of Insects in Agricultural Ecosystems. *Advances in Entomology*, **6**, 62-73. <https://doi.org/10.4236/ae.2018.62006>.
 45. Jayaraj, Ravindran, Pankajshan Megha, and Puthur Sreedev. "Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment." *Interdisciplinary toxicology* 9.3-4 (2016): 90-100. <https://doi.org/10.1515/intox-2016-0012>
 46. Kant, R., & Kumar, A. (2022). Review on essential oil extraction from aromatic and medicinal plants: Techniques, performance and economic analysis. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 30, 100829. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100829>
 47. Kudsk P, Jørgensen LN, Ørum JE. Pesticide Load—A new Danish pesticide risk indicator with multiple applications. *Land Use Policy*. 2018;70:384–393. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.11.010>
 48. Kumar, M., Tomar, M., Saurabh, V., Mahajan, T., Punia, S., del Mar Contreras, M., ... & Kennedy, JF (2020). Tendências emergentes na extração de pectina e sua

- funcionalização antimicrobiana usando bioativos naturais para aplicação em embalagens de alimentos. *Tendências em Ciência e Tecnologia de Alimentos* , 105 , 223-237. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.009>
49. Laporta, G. Z., Potter, A. M., Oliveira, J. F., Bourke, B. P., Pecor, D. B., & Linton, Y. M. (2023). Global distribution of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in a climate change scenario of regional rivalry. *Insects*, 14(1), 49. <https://doi.org/10.3390/insects14010049>
 50. Lee, Sehan, and Mace G. Barron. "Development of 3D-QSAR model for acetylcholinesterase inhibitors using a combination of fingerprint, molecular docking, and structure-based pharmacophore approaches." *Toxicological Sciences* 148.1 (2015): 60-70. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfv160>
 51. LIMA, Edna Barboza de. Testes de repelência e deterrência de oviposição em *Aedes aegypti* L. (Culicidae, Diptera) com óleos essenciais de espécies nativas da região Nordeste do Brasil. 2020. Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.
 52. Lima, V. L. D. S., Bailez, O. E., & Viana-Bailez, A. M. (2013). Caste polymorphism of apterous line of the Neotropical termite *Nasutitermes corniger* (Motschulsky)(Isoptera, Termitidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 57, 309-312. <https://doi.org/10.1590/S0085-56262013005000019>
 53. Limade Albuquerque Lima, T., de Queiroz Baptista, NM, de Oliveira, APS, da Silva, PA, de Gusmão, NB, dos Santos Correia, MT, ... & Paiva, PMG (2021). Atividade inseticida de óleo essencial do quimiotipo VI de folhas de *Lippia alba* coletadas na Caatinga e do composto majoritário (1,8-cineol) contra *Nasutitermes corniger* e *Sitophilus zeamais*. *Bioquímica e Fisiologia de Pesticidas* , 177 , 104901. doi.org/10.1016/j.pestbp.2021.104901
 54. Liu, N. (2015). Insecticide resistance in mosquitoes: impact, mechanisms, and research directions. *Annual review of entomology*, 60(1), 537-559. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010814-020828>
 55. Lorini, I., et al. . Manejo integrado de pragas de grãos e sementes armazenadas. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2015.
 56. LUCAS, E.J.; HOLST, B.; SOBRAL, M.; MAZINE, F. F.; LUGHADHA, E. M. N.; PROENÇA, C. E. B.; COSTA, I. R.; VASCONCELOS, T. N. C. A New Subtribal Classification of Tribe Myrteae (Myrtaceae). *Systematic Botany*, v. 44, p. 560-569, 2019. <https://doi.org/10.1600/036364419X15620113920608>
 57. LUNA, E. C. Óleos Essenciais E Seus Componentes Bioativos Para Uso Frente À Doenças Negligenciadas E Arboviroses: Uma Revisão. 102 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual da Paraíba, 2019.
 58. Magalhães, N. M. G., Lima, R., & Espindola, L. S. (2021). Registro e perfil ecotoxicológico de produtos para controle de *Aedes aegypti*. *Vigilância Sanitária em*

- Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia, 9(1), 71-81.
<https://visaemdebate.incqs.fiocruz.br/index.php/visaemdebate/article/view/1453>
59. Marques, A. D. S., Fazolin, M., da Silva, T. P., Monteiro, et al. (2024). Importância dos monoterpenos hidrocarbonados na ação inseticida das frações do óleo essencial de *Piper aduncum* L. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1163808>
 60. Mendes, L. A., Noia, L. R., Tuler, A. C., Peixoto, A. L., & da Silva Ferreira, M. F. (2016). Óleos essenciais em Myrtaceae. *Tópicos Especiais em Produção Vegetal VI*, 110.
 61. Mossa, A. T. H. (2016). Green pesticides: Essential oils as biopesticides in insect-pest management. *Journal of environmental science and technology*, 9(5), 354.
 62. Muzemu, S., Chitamba, J., & Goto, S. (2013). Triagem de grãos de variedades de milho armazenado (*Zea mays* L.) para tolerância contra o gorgulho do milho, *Sitophilus zeamais* (Motsch.). *International Journal of Plant Research*, 3 (3), 17-22.
<https://doi.org/10.33448/rsd-v11i13.33575>
 63. *Myrtaceae in Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB171>>. Acesso em: 08 fev. 2025
 64. Nayak, M. K., Daglish, G. J., & Phillips, T. W. (2015). Managing resistance to chemical treatments in stored products pests. *Stewart Postharvest Rev*, 11(1), 1-6.
<https://doi.org/10.2212/spr.2015.1.3>
 65. NETO, A. A. P. Potencial inseticida dos óleos essenciais das espécies de mentha para o Controle de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). 68 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2016
 66. Nwosu, L. C. (2018). Impact of age on the biological activities of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) adults on stored maize: implications for food security and pest management. *Journal of economic entomology*, 111(5), 2454-2460.
<https://doi.org/10.1093/jee/toy187>
 67. Ojo, J. A., & Omoloye, A. A. (2016). Development and life history of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) on cereal crops. *Advances in Agriculture*, 2016(1), 7836379. <https://doi.org/10.1155/2016/7836379>
 68. Paiva, P. M., Santana, G. M., Souza, I. F., Albuquerque, L. P., Agra-Neto, A. C., Albuquerque, A. C., ... & Coelho, L. C. (2011). Effect of lectins from *Opuntia ficus indica* cladodes and *Moringa oleifera* seeds on survival of *Nasutitermes corniger*. *International biodeterioration & biodegradation*, 65(7), 982-989.
<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2011.05.008>
 69. Peschiutta, ML, Achimón, F., Brito, VD et al. Toxicidade fumigante de óleos essenciais contra *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae): uma revisão sistemática e meta-análise. *J Pest Sci* **95**, 1037–1056 (2022).
<https://doi.org/10.1007/s10340-021-01457-1>

70. Pimentel, M. A. G., Oliveira, I. R. d., et al. (2020). *Inseticidas recomendados, limites de resíduos e indicações técnicas para aplicação no controle de pragas durante o armazenamento de grãos de milho*.
71. Plata-Rueda, A., Martínez, LC, Santos, MHD, Fernandes, FL, Wilcken, CF, Soares, MA, ... & Zanuncio, JC (2017). Atividade inseticida do óleo essencial de alho e seus constituintes contra o besouro da larva da farinha, *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae). *Relatórios científicos* , 7 (1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/srep46406>
72. Santos, L. G. P. S., Costa, B. A. M., et al. (2024). Plant-Based Insecticides for Control of *Aedes aegypti*, *Sitophilus zeamais* and *Nasutitermes corniger*: A Review and Bibliometric Analysis. *Advances in Research*, Volume 25, Issue 3, Page 159-174. <https://doi.org/10.9734/AIR/2024/v25i31062>
73. Proença CEB , EM Nicughadha , EJ Lucas , EM Woodgyer Algrizea (Myrteae, Myrtaceae): um novo gênero das terras altas do Brasil *Sistema Bot.* , 31 (2006) , pp. 320 - 326 , <https://doi.org/10.1600/036364406777585874>
74. Jankielsohn, A. (2018). A importância dos insetos em ecossistemas agrícolas. *Advances in Entomology* , 6 (2), 62-73. <https://doi.org/10.4236/ae.2018.62006>
75. Registro e perfil ecotoxicológico de produtos para controle de *Aedes aegypti*. (2021). *Vigilância Sanitária Em Debate* , 9(1), 71-81.
76. Ribeiro, B. R. ., Sampaio De Andrade Silva, V. ., Trindade de Brito Ribeiro, T. ., Rodrigues Guedes, V. ., & Borges Siqueira, I. (2023). Atividade conservante de óleos essenciais em alimentos: uma revisão da literatura. *Caderno De Graduação - Ciências Biológicas E Da Saúde - UNIT - SERGIPE*, 8(1), 63–76. Recuperado de <https://periodicos.set.edu.br/cadernobiologicas/article/view/11335>
77. Ribeiro, I. A. T. A. Caracterização química e atividades biológicas do óleo essencial de *Croton rudolphianus* Müll. Arg. (Euphorbiaceae). Dissertação de mestrado. Recife, PE: Universidade Federal de Pernambuco, 2016a, 119 p.
78. Ribeiro, I. A. T. D. A. (2020). Óleos essenciais de *Croton rudolphianus* e *Algrizea macrochlamys* no combate à doenças negligenciadas: esquistossomose e dengue. Tese de doutorado, Universidade Federal de Pernambuco. <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/38475>
79. Richard C. Brusca, Origin of the Hexapoda, *Journal of Crustacean Biology* , Volume 21, Edição 4, 1 de outubro de 2001, Páginas 1084–1086, <https://doi.org/10.1163/20021975-99990201>
80. Richardson EB, Troczka BJ, Gutbrod O, Davies TGE, Nauen R. Diamide resistance: 10 years of lessons from lepidopteran pests. *J Pest Scien.* 2020;93(3):911–928. doi.org/10.1007/s10340-020-01220-y

81. Rodrigues Soares, M. L. L. R., de Veras, B. O., & de Andrade, F. M. (2023). Avaliação da composição química e atividade antidiabética "in vitro" dos óleos essenciais de "Algrizea minor"(Myrtaceae) e "Eugenia brejoensis"(Myrtaceae). *Evidencia*, (1), 33-46.
82. Rodrigues, E. T., Alpendurada, M. F., Ramos, F., & Pardal, M. Â. (2018). Environmental and human health risk indicators for agricultural pesticides in estuaries. *Ecotoxicology and environmental safety*, 150, 224-231. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.12.047>
83. Rosado-Solano, DN, Barón-Rodríguez, MA, Sanabria Florez, PL, Luna-Parada, LK, Puerto-Galvis, CE, Zorro-González, AF, ... & Vargas-Méndez, LY (2019). Síntese, avaliação biológica e estudos computacionais in silico de derivados de 7-cloro-4-(1 H-1, 2, 3-triazol-1-il) quinolina: Busca de novos agentes controladores contra larvas de Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: noctuidae). *Revista de química agrícola e alimentar*, 67 (33), 9210-9219. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b01067>
84. Saber, FR, MuneKata, PE, Rizwan, K., El-Nashar, HA, Fahmy, NM, Aly, SH, ... & Lorenzo, JM (2024). Família Myrtaceae: O tesouro escondido na composição complexa/diversa. *Críticas em ciência e nutrição de alimentos*, 64 (19), 6737-6755. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2173720>
85. Santos, A. C., Rossato, M., Serafini, L. A., Bueno, M., Crippa, L. B., Sartori, V. C., ... & Moyna, P. (2010). Efeito fungicida dos óleos essenciais de Schinus molle L. e Schinus terebinthifolius Raddi, Anacardiaceae, do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 20, 154-159. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2010000200003>
86. Scheffrahn, R. H., Krecek, J., Szalanski, A. L., & Austin, J. W. (2005). Synonymy of neotropical arboreal termites Nasutitermes corniger and N. costalis (Isoptera: Termitidae: Nasutitermitinae), with evidence from morphology, genetics, and biogeography. *Annals of the Entomological Society of America*, 98(3), 273-281. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2005\)098\[0273:SONATN\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2005)098[0273:SONATN]2.0.CO;2)
87. Scudder, Geoffrey GE. "The importance of insects." *Insect biodiversity: science and society* (2017): 9-43. <https://doi.org/10.1002/9781118945568.ch2>
88. Silva, Rosimere da. Análise da composição química e potencial bactericida de três óleos essenciais da família Myrtaceae: potencial moluscicida e leishmanicida do óleo essencial de Algrizea minor. Universidade Federal de Pernambuco Teses de Doutorado - Ciências Biológicas 2018 <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/32438>
89. Silveira, D. P. B. Atividade Larvívica Sobre Aedes Aegypti L. (Culicidae) E Composição Química Do Óleo Essencial De Partes Aéreas De Baccharis trimera Less D.C. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde) - Universidade Federal do Maranhão, 2018.

90. Silvério, M. R. S., Espindola, L. S., Lopes, N. P., & Vieira, P. C. (2020). Plant natural products for the control of *Aedes aegypti*: The main vector of important arboviruses. *Molecules*, 25(15), 3484. <https://doi.org/10.3390/molecules25153484>
91. Sobral, M., Proença, C., Souza, M., Mazine, F., Lucas, E. 2015. Myrtaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil2015.jbrj.gov.br/FB36819>)
92. Stejskal, V., Vendl, T., Aulicky, R., & Athanassiou, C. (2021). Inseticidas sintéticos e naturais: formulações gasosas, líquidas, em gel e sólidas para controle de pragas em produtos armazenados e na indústria alimentícia. *Insetos*, 12 (7), 590. <https://doi.org/10.3390/insects12070590>
93. Távora, F. L., & França, F. F. (2021). Impactos das mudanças climáticas na agropecuária brasileira e os desafios para a segurança alimentar e humana. <https://repositorio.esg.br/handle/123456789/1421>
94. Terrazas, L. F. R., Alanes, E. V., Fernández, F., Rodríguez, N., Romero, C., Vargas, G. G., & Rosas, A. M. M. (2020). Temperatura mínima adecuada para el desarrollo del ciclo de vida del *Aedes aegypti*. *Revista Científica de Salud UNITEPC*, 7(1), 8-17. <https://doi.org/10.36716/unitepc.v7i1.64>
95. Thorne, B. (2024). *Nasutitermes corniger*. CABI Compendium Digital Library. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.36693>
96. Valle, D., Pimenta, DN., and Cunha, RV. orgs. Dengue: teorias e práticas [online]. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2015, 450 p. ISBN: 978-85-7541-552-8.
97. Veras, B. O. et al. Algrizea Minor Sobral, Faria & Proença (Myrteae, Myrtaceae): chemical composition, antinociceptive, antimicrobial and antioxidant activity of essential oil. *Natural Product Research*, 34:20, 3013-3017, 2019. <https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1602832>
98. Verma, M., Sharma, S., & Prasad, R. (2009). Biological alternatives for termite control: A review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 63(8), 959-972. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2009.05.009>
99. Walguil, J.M.; Viana, P. A.; Cruz, I. Manejo Integrado de Pragas. In: AGEITEC: Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_69_1682005_1120.html
100. Wakil, W., Kavallieratos, N. G., Usman, M., Gulzar, S., & El-Shafie, H. A. (2021). Detection of phosphine resistance in field populations of four key stored-grain insect pests in Pakistan. *Insects*, 12(4), 288. <https://doi.org/10.3390/insects12040288>
101. Wink, M. Modes of Action of Herbal Medicines and Plant Secondary Metabolites. *Medicines*, v. 2, p. 251-286, 2015. <https://doi.org/10.3390/medicines2030251>

102. Zettel, C.; Kaufman, P. Yellow fever mosquito *Aedes aegypti* (Linnaeus) (Insecta: Diptera: Culicidae). 2020. Disponível em Acesso em: <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/in792>
103. Zhu, F., Gujar, H., Gordon, J. *et al.* Percevejos desenvolveram estratégia adaptativa única para resistir a inseticidas piretróides. *Sci Rep* 3 , 1456 (2013). <https://doi.org/10.1038/srep01456>
104. Zulfa, Ramdan, Wei-Cheng Lo, Po-Ching Cheng, Martini, and Ting-Wu Chuang. 2022. "Updating the Insecticide Resistance Status of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in Asia: A Systematic Review and Meta-Analysis" *Tropical Medicine and Infectious Disease* 7, no. 10: 306. <https://doi.org/10.3390/tropicalmed7100306>