



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

DAIANE MARIA BARBOSA DOS SANTOS

**Mapeamento ontogenético da composição química de espécies de *Piper* e  
avaliação do seu potencial acaricida no controle do *Tetranychus urticae* (Ácaro  
rajado)**

Recife  
2025

DAIANE MARIA BARBOSA DOS SANTOS

**Mapeamento ontogenético da composição química de espécies de *Piper* e  
avaliação do seu potencial acaricida no controle do *Tetranychus urticae* (Ácaro  
rajado)**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Licenciatura em  
Química da Universidade Federal Rural de  
Pernambuco, como requisito parcial para  
obtenção do título de Licenciada em  
Química.

Orientador (a): Prof. Dr. Claudio Augusto  
Gomes da Camara.

Recife

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

S237m Santos, Daiane Maria Barbosa dos.  
Mapeamento ontogenético da composição química de espécies de Piper e avaliação do seu potencial acaricida no controle do *Tetranychus urticae* (Ácaro rajado) / Daiane Maria Barbosa dos Santos. – Recife, 2025.  
70 f.: il.

Orientador(a): Cláudio Augusto Gomes da Camara.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Química, Recife, BR-PE, 2025.

Inclui referências.

1. Ontogenia 2. Piper 3. Óleos essenciais 4. *Tetranychus urticae* I. Camara, Cláudio Augusto Gomes da, orient. II. Título

CDD 540

DAIANE MARIA BARBOSA DOS SANTOS

**Estudo da variação da composição química de diferentes espécies de *Piper* em diferentes fases de desenvolvimento e avaliação de seu potencial acaricida no controle do *Tetranychus urticae* (Ácaro rajado)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciada em Química.

Aprovado em: 04/08/2025

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Claudio Augusto Gomes da Camara (Orientador)  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Prof. Dr. André Augusto Pimentel Liesen Nascimento (Examinador Interno)  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Dr. Rodolfo Rodrigues da Silva (Examinador Externo)

Dedico este trabalho à minha mãe, Mirian, por sempre acreditar em mim, todo apoio, cuidado e amor incondicionais comigo foram fundamentais. Cada passo que dei nessa longa jornada acadêmica teve sua força por trás. Sem você, nada disso seria possível.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha mãe, por sempre fazer o impossível pela nossa família, abrindo mão de tantas coisas para que nunca nos faltasse nada. És meu maior exemplo de força. Obrigada por tudo mãe, inclusive por ficar acordada até tarde da noite, me esperando chegar da aula.

À minha irmã, Luiza, a maior historiadora de todas, mãe de Jonas (o meu coração fora do peito), e minha pessoa favorita. Obrigada por ser minha parceira de vida e por compartilhar tantas experiências boas. Tenho muito orgulho de você.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Claudio Câmara, pela oportunidade de fazer parte do grupo de pesquisa LPNBio, e ao Prof. Dr. Marcílio, por sua dedicação, presença constante, disponibilidade, conselhos e por acreditar em mim. Seu apoio foi fundamental ao longo desta caminhada.

Agradeço ao CNPq pelo financiamento concedido para a realização deste trabalho.

Aos professores que compuseram a banca avaliadora, Prof. Liesen e Prof. Rodolfo, agradeço por gentilmente aceitarem o convite.

À professora Ruth Firme, que me acompanhou desde o início da graduação como coordenadora do PIBID até o final, na disciplina de Seminários Formativos, na qual, por um período, estivemos apenas nós duas compondo a turma. Nunca esquecerei seus ensinamentos. A senhora foi minha melhor professora na área de ensino e minha maior inspiração.

Agradeço, ainda, aos demais professores da graduação, com especial carinho à Liesen, João Tenório, Ângela Campos, Suely e Severino Carlos.

Aos meus colegas e amigos do LPNBio: Bia, Sergio, Carlos, Lucas Victor, Mirian (Mi), Lari, Ari, Mabson, Yara, Rodolfo, Nicoli, Luan, Jayane, Thales, Alice, Miqueias, Carol, Sara, Elaine e todos os outros que fizeram parte dessa jornada, meu sincero agradecimento pela companhia, apoio e trocas de diárias.

Aos meus pris, Lucas e Bia, por me mostrarem o verdadeiro significado da amizade. Dividir momentos com vocês é um privilégio. Obrigada por estarem ao meu lado em todos os momentos, pelas risadas, conselhos e apoio incondicional. Vocês são luz na minha vida.

“Um passo à frente, e você não está mais no mesmo lugar”. (Chico Science)

## RESUMO

As espécies do gênero *Piper* se destacam por apresentar diversas atividades biológicas, incluindo potencial bioativo frente a pragas, como o *Tetranychus urticae* (ácaro rajado), praga agrícola de relevância econômica e difícil controle. A aplicação recorrente de acaricidas comerciais tem favorecido a seleção de populações resistentes, além de impactos negativos ao meio ambiente. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo analisar a composição química dos óleos essenciais extraídos das folhas de plântulas e plantas adultas de cinco espécies de *Piper* (*P. aduncum*, *P. dilatatum*, *P. hispidum*, *P. umbellatum* e *P. tuberculatum*) e avaliar seu potencial acaricida frente ao *T. urticae*. Os óleos foram obtidos por hidrodestilação e caracterizados por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM). A análise demonstrou variações ontogenéticas significativas na composição dos óleos, com destaque para o dilapiol como composto majoritário em *P. aduncum*, e a presença de amidas alcalóides em *P. tuberculatum* na fase de plântula e a predominância de sesquiterpenos nas fases adultas das demais espécies. A análise de componentes principais (PCA) distinguiu os perfis químicos das espécies em quatro grupos distintos, evidenciando diferenças consideráveis na ontogenia das espécies. Os bioensaios demonstraram efeito tóxico dose-dependente para os óleos essenciais testados, destacando a *P. dilatatum* ( $CL_{50} = 3,65 \mu\text{L/mL}$ ) sendo a mais tóxica entre as espécies sendo comparada ao produto comercial Azamax<sup>®</sup> que teve um valor próximo a esse resultado. Os óleos essenciais das cinco espécies de *Piper* testadas apresentaram diferentes níveis de inibição da acetilcolinesterase (AChE), com *P. hispidum*, *P. tuberculatum* e *P. umbellatum* demonstrando maior atividade inibitória que o controle positivo (Cloridrato de donepezila), enquanto *P. aduncum* apresentou inibição equivalente aos controles comerciais. Já a *P. dilatatum* exibiu menor efeito na inibição da AChE, sugerindo modos de ação distintos na atividade acaricida. Os resultados apontam para o potencial dos óleos essenciais como controles alternativos naturais viáveis aos acaricidas comerciais, contribuindo para práticas agrícolas mais sustentáveis.

**Palavras-chave:** *Piper*, *Tetranychus urticae*, óleos essenciais, ontogenia, acaricida, acetilcolinesterase.

## ABSTRACT

Species of the genus *Piper* are notable for exhibiting diverse biological activities, including bioactive potential against pests such as *Tetranychus urticae* (two-spotted spider mite), an economically relevant agricultural pest that is difficult to control. The recurrent application of commercial acaricides has promoted the selection of resistant populations, in addition to causing negative environmental impacts. In this context, the present study aimed to analyze the chemical composition of essential oils extracted from the leaves of seedlings and adult plants of five *Piper* species (*P. aduncum*, *P. dilatatum*, *P. hispidum*, *P. umbellatum*, and *P. tuberculatum*) and to evaluate their acaricidal potential against *T. urticae*. The essential oils were obtained by hydrodistillation and characterized by gas chromatography coupled with mass spectrometry (GC-MS). The analysis revealed significant ontogenetic variations in oil composition, with dilapiol as the major compound in *P. aduncum*, the presence of alkaloid amides in *P. tuberculatum* at the seedling stage, and a predominance of sesquiterpenes in the adult stages of the other species. Principal component analysis (PCA) distinguished the chemical profiles of the species into four distinct groups, highlighting considerable differences in species ontogeny. Bioassays demonstrated a dose-dependent toxic effect of the tested essential oils, with *P. dilatatum* ( $LC_{50} = 3.65 \mu\text{L/mL}$ ) being the most toxic among the species, comparable to the commercial product Azamax®, which showed a similar value. The essential oils of the five tested *Piper* species exhibited varying levels of acetylcholinesterase (AChE) inhibition, with *P. hispidum*, *P. tuberculatum*, and *P. umbellatum* showing higher inhibitory activity than the positive control (donepezil hydrochloride), whereas *P. aduncum* showed inhibition equivalent to the commercial controls. *P. dilatatum*, however, exhibited a lower effect on AChE inhibition, suggesting different modes of action in its acaricidal activity. These results indicate the potential of essential oils as viable natural alternatives to commercial acaricides, contributing to more sustainable agricultural practices.

**Keywords:** *Piper*, *Tetranychus urticae*, essential oils, ontogeny, acaricide, acetylcholinesterase.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>T. urticae</i> no interior de folha de Feijão de porco ( <i>Canavalia ensiformes</i> L).....	18
<b>Figura 2.</b> Ciclo de vida <i>T. urticae</i> . .....	18
<b>Figura 3.</b> Aparelho do tipo Clevenger modificado. ....	21
<b>Figura 4.</b> Unidade de isopreno. ....	22
<b>Figura 5.</b> Exemplo de monoterpeno (A) e sesquiterpeno (B). ....	22
<b>Figura 6.</b> Exemplo de composto fenólico.....	23
<b>Figura 7.</b> Plântula de <i>Piper dilatatum</i> com 3 cm de altura e par de folhas formadas. ....	25
<b>Figura 8.</b> Classificação taxonômica do gênero <i>Piper</i> . ....	26
<b>Figura 9.</b> <i>Piper aduncum</i> . ....	27
<b>Figura 10.</b> Estrutura química do dilapiol. ....	27
<b>Figura 11.</b> <i>Piper dilatatum</i> . ....	28
<b>Figura 12.</b> <i>Piper hispidum</i> . ....	29
<b>Figura 13.</b> <i>Piper umbellatum</i> .....	30
<b>Figura 14.</b> <i>Piper tuberculatum</i> . ....	31
<b>Figura 15.</b> Reação de hidrólise da enzima acetilcolinesterase. ....	32
<b>Figura 16.</b> Mapa dos locais de coleta.....	33
<b>Figura 17.</b> Plântula de <i>Piper dilatatum</i> com 3 cm de altura e par de folhas formadas. ....	34
<b>Figura 18.</b> Equipamento Cromatógrafo Gasoso acoplado a Espectrômetro de Massas. ....	36
<b>Figura 19.</b> Feijão de porco ( <i>Canavalia ensiformes</i> L) sendo plantados (A), Plantação de Feijões de porco após 25 dias (B), Criação dos Ácaros rajados (C). ....	36
<b>Figura 20.</b> Cromatograma dos óleos essenciais das folhas de <i>P. aduncum</i> nas fases plântula e adulta. ....	42
<b>Figura 21.</b> Cromatograma dos óleos essenciais das folhas de <i>P. dilatatum</i> nas fases plântula e adulta. ....	45
<b>Figura 22.</b> Cromatograma dos óleos essenciais das folhas de <i>P. umbellatum</i> nas fases plântula e adulta. ....	47
<b>Figura 23.</b> Cromatograma dos óleos essenciais das folhas de <i>P. hispidum</i> nas fases plântula e adulta. ....	50
<b>Figura 24.</b> Cromatogramas do óleo essencial das folhas de <i>P. tuberculatum</i> nas fases plântula e adulta. ....	52
<b>Figura 25.</b> Gráficos de scores (A) e de loadings (B) da análise de componentes principais dos óleos essenciais de <i>P. aduncum</i> , <i>P. dilatatum</i> , <i>P. hispidum</i> , <i>P. umbellatum</i> e <i>P. tuberculatum</i> .....	54

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Rendimento dos óleos essenciais das folhas das espécies de Piper nas fases plântula e adulta. ....	40
<b>Tabela 2.</b> Composição química dos óleos essenciais das folhas de <i>P. aduncum</i> nas fases plântula e adulta. ....	41
<b>Tabela 3.</b> Composição química dos óleos essenciais das folhas de <i>P. dilatatum</i> nas fases plântula e adulta. ....	43
<b>Tabela 4.</b> Composição química dos óleos essenciais das folhas de <i>P. umbellatum</i> nas fases plântula e adulta. ....	46
<b>Tabela 5.</b> Composição química dos óleos essenciais das folhas de <i>P. hispidum</i> nas fases plântula e adulta. ....	48
<b>Tabela 6.</b> Composição química dos óleos essenciais das folhas de <i>P. tuberculatum</i> nas fases plântula e adulta. ....	51
<b>Tabela 7.</b> Toxicidade por contato residual ( $CL_{50}$ em $\mu\text{L/mL}$ ) dos óleos essenciais de Piper na fase adulta e acaricidas comerciais. ....	55
<b>Tabela 8.</b> Atividade de inibição da enzima AChE $\mu\text{g/mL}$ do óleo essencial das espécies de Piper na fase adulta. ....	56

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACh – Acetilcolina

AChE – Acetilcolinesterase

ACTI – Iodeto de Acetilcolina

BuChE – Butirilcolinesterase

CG – Cromatografia Gasosa

CG-EM – Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrometria de Massa

CI<sub>50</sub> – Concentração Inibitória Média

CL<sub>50</sub> – Concentração Letal Média

DTNB - Ácido ditionitrobenzóico

E.P. – Erro padrão

EM – espectro de massa

eV – Elétron-volt

G.L. – Grau de Liberdade

IC – Intervalo de Confiança

IR – Índice de retenção

LABIQUIN – Laboratório de Investigação Química de Inseticidas Naturais

LPNBio – Laboratório de Produtos Naturais e Bioativos

m/m – massa/massa

m/z – massa/carga

MeOH – Metanol

PA\_AD – *Piper aduncum* adulta

PA\_PL – *Piper aduncum* plântula

PCA – Análise de Componentes Principais (Do inglês, *Principal Component Analysis*)

PD\_AD – *Piper dilatatum* adulta

PD\_PL – *Piper dilatatum* plântula

PH\_AD – *Piper hispidum* adulta

PH\_PL – *Piper hispidum* plântula

PT\_PA – *Piper tuberculatum* adulta

PT\_PL – *Piper tuberculatum* plântula

PU\_AD – *Piper umbellatum* adulta

PU\_PL – *Piper umbellatum* plântula

SNC – Sistema Nervoso Central

SNP – Sistema Nervoso Periférica

$\chi^2$  – Qui-quadrado

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1 Objetivo geral</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>16</b>
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1 <i>Tetranychus urticae</i> (ácaro rajado)</b> .....	<b>17</b>
3.1.1 Ciclo de vida .....	18
3.1.2 Controle da praga .....	19
<b>3.2 Metabolismo primário e secundário de plantas</b> .....	<b>19</b>
<b>3.3 Óleos essenciais</b> .....	<b>20</b>
3.3.1 Métodos de extração .....	20
3.3.2 Composição química .....	21
<b>3.4 Ontogenia de plantas</b> .....	<b>23</b>
<b>3.5 Família Piperaceae e gênero <i>Piper</i></b> .....	<b>25</b>
3.5.1 <i>Piper aduncum</i> .....	26
3.5.2 <i>Piper dilatatum</i> .....	27
3.5.3 <i>Piper hispidum</i> .....	28
3.5.4 <i>Piper umbellatum</i> .....	29
3.5.5 <i>Piper tuberculatum</i> .....	30
<b>3.6 Atividade acetilcolinesterase</b> .....	<b>31</b>
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>33</b>
<b>4.1 Locais de realização da pesquisa</b> .....	<b>33</b>
<b>4.2 Coletas do material vegetal</b> .....	<b>33</b>
<b>4.3 Cultivo de plântulas</b> .....	<b>33</b>
<b>4.4 Obtenção dos óleos essenciais</b> .....	<b>34</b>
<b>4.5 Identificação química por Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrometria de Massa (CG-EM)</b> .....	<b>35</b>
<b>4.6 Atividades biológicas</b> .....	<b>36</b>
4.6.1 Criação de <i>T. urticae</i> (ácaro rajado).....	36
4.6.2 Bioensaio de Toxicidade residual.....	37
<b>4.7 Teste de Inibição da enzima Acetilcolinesterase</b> .....	<b>38</b>
<b>4.8 Análises estatísticas</b> .....	<b>39</b>
<b>4.9 Análise de Componentes Principais (PCA)</b> .....	<b>39</b>
<b>5 RESULTADOS DISCUSSÃO</b> .....	<b>40</b>
<b>5.1 Composição química dos óleos essenciais</b> .....	<b>40</b>

<b>Tabela 1. Rendimento dos óleos essenciais das folhas das espécies de <i>Piper</i> nas fases plântula e adulta.</b>	.....Erro! Indicador não definido.
<b>5.2 Composição química dos óleos essenciais das folhas de <i>Piper aduncum</i> nas fases plântula e adulta</b>	..... 40
<b>5.3 Composição química dos óleos essenciais das folhas de <i>Piper dilatatum</i> nas fases plântula e adulta</b>	..... 43
<b>5.3 Composição química dos óleos essenciais das folhas de <i>Piper umbellatum</i> nas fases plântula e adulta</b>	..... 45
<b>5.4 Composição química dos óleos essenciais das folhas de <i>Piper hispidum</i> nas fases plântula e adulta</b>	..... 47
<b>5.5 Composição química dos óleos essenciais das folhas de <i>Piper tuberculatum</i> nas fases plântula e adulta</b>	..... 50
<b>5.6 Análise PCA do perfil químico das plântulas e plantas adultas de espécies de <i>Piper</i></b>	..... 53
<b>5.7 Atividade acaricida dos óleos essenciais na fase adulta</b>	..... 55
<b>5.8 Atividade acetilcolinesterase dos óleos essenciais das espécies do gênero <i>Piper</i> em sua fase adulta</b>	..... 56
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	..... 58
<b>REFERÊNCIAS</b>	..... 59

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira e suas diferentes atividades e produções ocupam lugar de destaque na economia sendo um setor de importância para sociedade (Sampaio *et al.*, 2022). Nessa direção, as pragas agrícolas causam danos a diversas culturas, comprometendo sua produtividade, com prejuízos econômicos consideráveis (Fornazier, *et al.*, 2017). Entre essas pragas, destaca-se o *Tetranychus urticae*, conhecido como ácaro rajado, uma espécie cosmopolita e polífaga, que provoca danos às culturas devido ao seu modo de alimentação, sugando o conteúdo das células, provocando manchas cloróticas nas folhas (Fernandes, 2021).

O controle dessa praga é comumente realizado utilizando acaricidas sintéticos, esses produtos químicos apresentam eficácia imediata na redução da população da praga. Entretanto, não é um método sustentável, pois pode causar riscos à saúde humana devido à exposição de trabalhadores e consumidores, assim como o efeito cumulativo de aplicações pode gerar seleções de indivíduos resistentes (Sousa, 2018). Uma alternativa promissora ao uso de acaricidas sintéticos é o uso de óleos essenciais uma vez que apresentam substâncias bioativas em sua composição com potencial acaricida (Choi *et al.*, 2004).

Os óleos essenciais são substâncias voláteis que podem ser extraídas de várias partes da planta, como caule, folhas, raízes e frutos (Silveira *et al.*, 2012). Esses óleos são adquiridos a partir do metabolismo secundário das plantas, sendo compostos principalmente de monoterpenos, sesquiterpenos e fenilpropanóides (Ribeiro, Bonilla e Lucena, 2018). Dentre os diversos grupos botânicos evidenciados na produção de óleos essenciais está a família Piperaceae, pertencente ao maior grupo de Angiospermas, as quais apresentam 13 gêneros: *Artanthe*, *Lindenipiper*, *Macropiper*, *Manekia*, *Ottonia*, *Peperomia*, *Piper*, *Piperanthera*, *Pothomorphe*, *Sarcorrhachis*, *Trianaeopiper*, *Verhuellia* e *Zippelia* (Nascimento *et al.*, 2022).

Grande parte das espécies da família Piperaceae possuem propriedades biológicas relacionadas à composição química dos óleos essenciais que contêm diversos constituintes que abrem possibilidades para novos estudos e aplicações de seus recursos naturais (Oliveira *et al.*, 2020). A exemplo do gênero *Piper* que se destaca por apresentar algumas espécies com atividades biológicas relatadas na

literatura, relevantes e promissoras no controle do ácaro rajado, como verificados por Correia, Moraes e Câmara (2019) e Lima *et al.* (2020), que testaram diferentes concentrações do óleo essencial de *P. aduncum* frente ao *T. urticae*.

A composição química dos óleos essenciais é determinada por fatores que podem acarretar alterações na produção dos metabólitos secundários e na proporção relativa desses compostos. Dentre estes fatores, destacam-se a idade e as fases de desenvolvimento das plantas. Em geral, tecidos jovens, como plântulas, exibem maior atividade biossintética, o que pode resultar em uma maior produção de diversos compostos em óleos essenciais (Moraes, 2009). No entanto, na literatura, estudos do perfil químico de plantas em sua fase inicial como plântulas são escassos.

Diante do exposto, considerando que plantas do gênero *Piper* em sua fase de plântula são pouco exploradas, e em sua fase adulta são conhecidas por apresentarem diversos metabólitos secundários com ação acaricida, a presente pesquisa busca responder à seguinte questão: "Como a composição química de diferentes espécies de *Piper* varia ao longo de suas fases de desenvolvimento, e quais dessas espécies apresentam maior eficácia no controle do *Tetranychus urticae*?"

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

- Investigar variações na composição química dos óleos essenciais das folhas de espécies de *Piper* em diferentes fases de desenvolvimento e sua aplicação no controle do *Tetranychus urticae* (Ácaro rajado).

### 2.2 Objetivos específicos

- Cultivar diferentes espécies de *Piper* em condições controladas;
- Extrair o óleo essencial das folhas de espécies do gênero *Piper* nas fases ontogenéticas: plântula e adulta;
- Identificar a composição química das folhas das espécies de *Piper* estudadas através da técnica de Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (CG-EM);
- Comparar o perfil químico das plantas através da técnica quimiométrica de PCA (Análise de Componentes Principais);
- Avaliar a atividade acaricida das espécies do gênero *Piper* em sua fase adulta sobre o *T. urticae*, através do bioensaio de contato residual;
- Avaliar o potencial de inibição para a enzima acetilcolinesterase dos óleos das espécies do gênero *Piper*.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

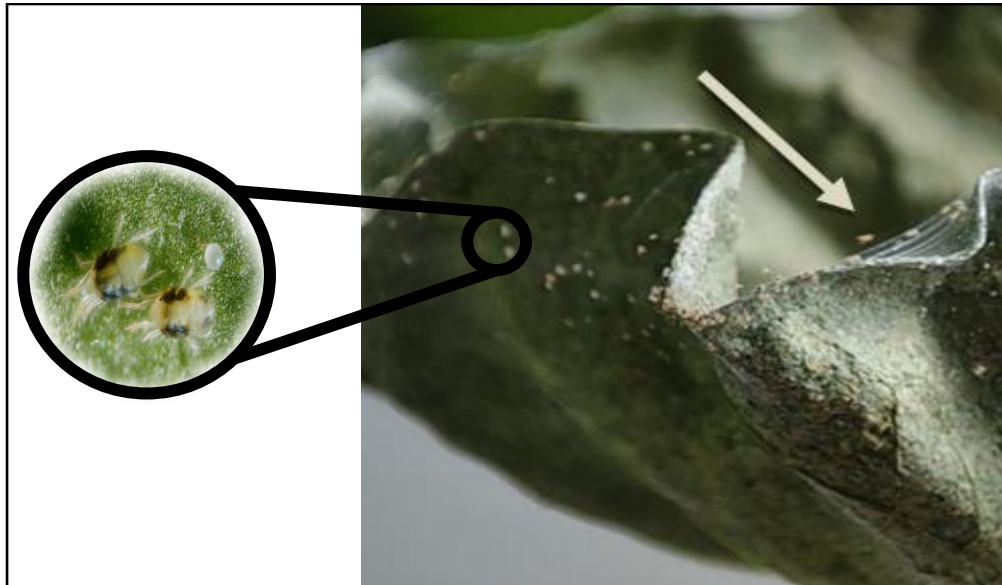
Nesta seção, são apresentados conceitos que fundamentam este estudo. A priori, aborda-se o *Tetranychus urticae*, praga que causa prejuízos consideráveis em culturas agrícolas e os desafios decorrentes do seu manejo, marcado pelo desenvolvimento de resistência a acaricidas convencionais. Na sequência, discutem-se aspectos do metabolismo primário e secundário de plantas, destacando a produção de óleos essenciais como compostos bioativos de interesse. Além disso, são descritos métodos de extração e as particularidades referentes à composição química dos óleos essenciais que é influenciado por diversos fatores incluindo o estágio ontogenético da planta. A ontogenia é discutida com base em sua importância para a compreensão da dinâmica metabólica ao longo do desenvolvimento vegetal. Por fim, são abordadas a família Piperaceae e o gênero *Piper*, destacando características e atividades biológicas das espécies trabalhadas no presente estudo, que busca investigar seus óleos essenciais como alternativas promissoras frente ao ácaro rajado.

#### 3.1 *Tetranychus urticae* (ácaro rajado)

No grupo dos ácaros fitófagos, a família Tetranychidae se destaca como a mais relevante, incluindo cerca de 1.300 espécies distribuídas em 77 gêneros (Acuña *et al.*, 2022). As espécies fitófagas causam prejuízos econômicos ao atacarem plantas cultivadas em diferentes regiões do mundo, abrangendo culturas agrícolas, frutíferas, olerícolas, ornamentais, espécies vegetais não cultivadas e daninhas (Roggia, 2007).

Entre essas espécies, destaca-se *Tetranychus urticae* Koch (*T. urticae*) conhecido como ácaro rajado, por ser uma praga cosmopolita e polífaga, está presente em diversas regiões do mundo, atacando diversas culturas, como algodão, milho, soja, tomate, citros, mamão, pêssego, maçã, entre outras (Monteiro e Hickel, 2004). O *T. urticae*, ocupam principalmente a face inferior das folhas (Figura 1), em que se alimenta do conteúdo celular, ocasionando manchas cloróticas, comprometendo assim a capacidade fotossintética da planta (Barbosa *et al.*, 2017). À medida que a infestação progride, os indivíduos migram para a parte superior da planta, onde produzem seda (Poletti, Olmoto e Moraes, 2006).

**Figura 1.** *T. urticae* no interior de folha de Feijão de porco (*Canavalia ensiformes* L).

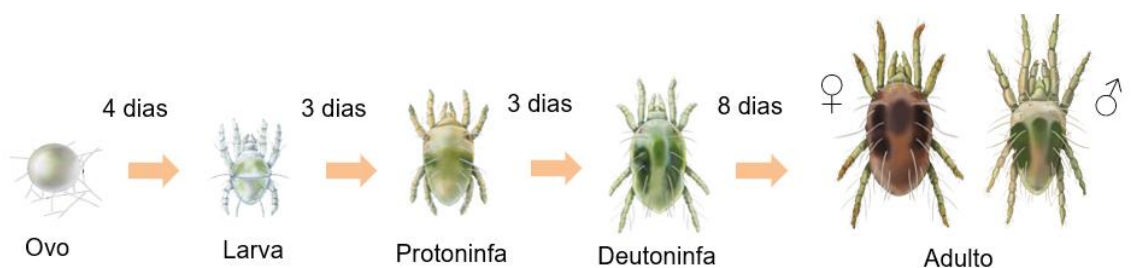


Fonte: Autora (2025).

### 3.1.1 Ciclo de vida

O *T. urticae* apresenta um ciclo de vida que inclui os estágios de ovo, larva, protoninfa, deutoninfa e adultos (Figura 2) (Moraes e Flechtman, 2008). A larva, ao eclodir, é incolor e apresenta duas manchas vermelhas oculares, ao iniciar sua alimentação muda sua coloração gradualmente para verde claro e, em seguida, para verde escuro (Moraes e Flechtman, 2008). A deutoninfa é pouco maior que a protoninfa e sua coloração varia conforme o sexo, as fêmeas são maiores enquanto os machos são menores e com o corpo mais afilado isso ocorre devido ao dimorfismo sexual apresentado por essa espécie (Strücker, 2022).

**Figura 2.** Ciclo de vida *T. urticae*.



Fonte: adaptado de Koppert Brasil (2025).

### 3.1.2 Controle da praga

O controle químico é o método mais utilizado no manejo de pragas agrícolas por ser uma medida eficaz para evitar perdas econômicas (Maciel, 2014). Entre os produtos empregados nesse tipo de controle, destacam-se acaricidas comerciais, como o Azamax<sup>®</sup>, cujo princípio ativo é a azadiractina e o Ortus<sup>®</sup>, formulado à base de fenpiroximato (Maia, 2018).

Entretanto, o uso indevido de pesticidas pode ocasionar diversos problemas, como a resistência da praga e efeitos negativos ao meio ambiente (Ripa, Larral e Montenegro, 2008). A resistência da praga é consequência natural de processos evolutivos relacionados à seleção natural de espécies, que as tornam menos suscetíveis aos métodos de controle (Vargas, Olivares e Ubillo, 2008).

De acordo com o Arthropod Pesticide Resistance Database, *T. urticae* é o artrópode com o maior número de casos de resistência já documentados, totalizando 558 registros envolvendo 96 ingredientes ativos distintos, incluindo 30 casos para o fenpiroximato. Os genes que permitem a sobrevivência de um indivíduo podem existir em uma população ou surgir por meio de mutações (Vargas, Olivares e Ubillo, 2008). Comparado com outras pragas, o ácaro rajado possui uma quantidade maior de genes relacionados à desintoxicação, o que contribui para sua habilidade de lidar com diferentes substâncias tóxicas, incluindo acaricidas (Rakhmanov, 2024).

Dessa forma, a busca por meios de controles alternativos da praga como acaricidas botânicos advindos do uso de óleos essenciais tem se destacado devido à sua origem natural (Mercês, 2019). A variabilidade na composição química desses produtos naturais, proveniente do metabolismo secundário das plantas, pode oferecer múltiplos modos de ação e dificultar o desenvolvimento de resistência por parte das pragas.

## 3.2 Metabolismo primário e secundário de plantas

O metabolismo vegetal pode ser dividido em duas grandes classes: primário e secundário (Silva, 2022a). O metabolismo primário envolve os processos de síntese de celulose, lipídeos, açúcares, proteínas e diversas outras substâncias essenciais para as necessidades básicas para a sobrevivência das plantas (Scotá, 2023). Essas

sínteses ocorrem por vias conhecidas como glicólise e ciclo de Krebs que, além de sintetizar intermediários para outras vias metabólicas, geram energia a partir de reações de oxirredução de compostos orgânicos (Rezende *et al.*, 2016).

Em contrapartida, o metabolismo secundário está relacionado com a biossíntese de compostos que não são essenciais para desenvolvimento básicos, com intuito de prevenir a planta contra fatores abióticos, como temperatura, luz, umidade, além da defesa contra herbívoros e patógenos, atração de polinizadores e adaptação a condições diversas (Correia *et al.*, 2025). Esses metabólitos secundários, geralmente, são biossintetizados a partir dos metabólitos primários (Zanetti, 2024).

### 3.3 Óleos essenciais

Os óleos essenciais podem ser definidos como misturas complexas de substâncias voláteis, lipofílicas, geralmente odoríferas e líquidas, obtidas através de diferentes órgãos vegetais, como folhas, galhos, flores, frutos, sementes, raízes e madeira (Santiago *et al.*, 2023). São constituídos em sua maioria por moléculas de classes de químicas como fenilpropanóides, terpenóides como os monoterpenos e sesquiterpenos, pertencentes ao metabolismo secundário das plantas (Morais, 2009).

Nas plantas possuem função de proteção contra perda de água e calor, autodefesa contra herbívoros e atração de agentes polinizadores (Silva *et al.*, 2019). Os óleos essenciais são utilizados diversas áreas como na aromaterapia, cosmética e perfumaria, (Silva *et al.*, 2019). Além disso, os óleos essenciais também apresentam atividades biológicas com potencial frente a pragas, sendo utilizados como acaricidas (Cavalcante, 2021).

#### 3.3.1 Métodos de extração

A obtenção de óleos essenciais pode ser realizada por meio diversos métodos de extração, como a hidrodestilação, destilação a vapor, extração por solventes orgânicos, extração com fluido supercrítico entre outros (Almeida, Almeida e Gherardi, 2020). Segundo Marcon e Lasta (2016), a hidrodestilação é o método de extração de óleos essenciais mais utilizado em escala laboratorial. O mesmo se baseia no aquecimento do material vegetal em água, fazendo com que os produtos voláteis

sejam arrastados juntamente com o vapor d'água por um sistema tipo Clevenger (Figura 3) (Klein e Souza, 2012).

**Figura 3.** Aparelho do tipo Clevenger modificado.



Fonte: Autora (2025).

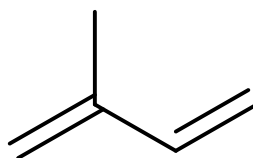
### 3.3.2 Composição química

A composição química de óleos essenciais é comumente determinada por meio da técnica de Cromatografia Gasosa Acoplada à Espectrometria de Massas (CG-MS) (Nascimento, 2023). Essa técnica é empregada por combinar a alta seletividade e eficiência de separação da cromatografia, com a possibilidade de obtenção de informações estruturais e de massa molar dos compostos (Canova, 2017).

Os principais metabólitos secundários presentes na composição química de óleos essenciais são terpenos, compostos fenólicos e compostos nitrogenados (Silva, 2024). Os terpenos são formados por unidades de isopreno (Figura 4), uma estrutura composta por 5 carbonos (C<sub>5</sub>), e podem ser classificados conforme o número dessas

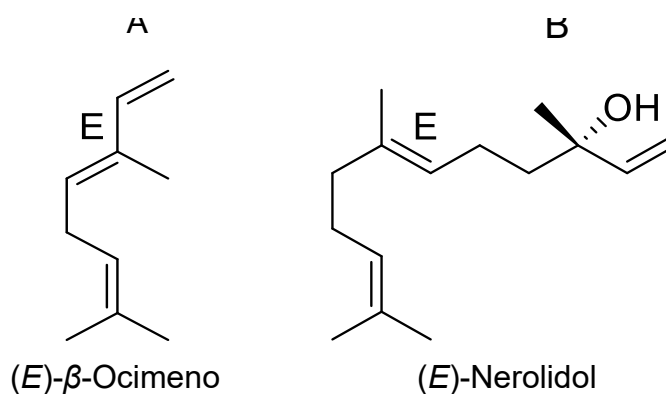
unidades em suas estruturas, como por exemplo os monoterpenos (C10) e sesquiterpenos (C15) (Figura 5) (Rodrigues, 2021).

**Figura 4.** Unidade de isopreno.



Fonte: Autora (2025).

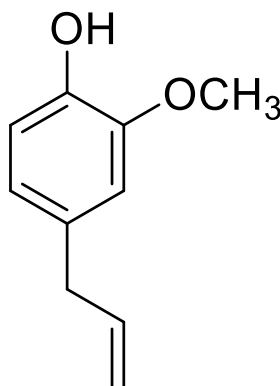
**Figura 5.** Exemplo de monoterpeno (A) e sesquiterpeno (B).



Fonte: Autora (2025).

Os compostos fenólicos (Figura 6) presentes nos vegetais representam um grupo quimicamente heterogêneo com aproximadamente 10.000 compostos, os quais desempenham funções de defesa contra herbívoros e patógenos (Borges e Amorim, 2020). Os compostos nitrogenados incluem alcalóides, glicosídeos cianogênicos e aminoácidos não proteicos, são derivados de aminoácidos comuns e ajudam na defesa das plantas (Pagare *et al.*, 2015).

**Figura 6.** Exemplo de composto fenólico.



Fonte: Autora (2025).

A composição química dos óleos essenciais pode ser influenciada por diversos fatores, capazes de induzir alterações fisiológicas nas plantas e redirecionar vias metabólicas (Olivoto, *et al.*, 2017). Destacam-se, entre eles, a idade e o estágio de desenvolvimento, fatores abióticos como luminosidade, temperatura, pluviosidade, nutrição, além da época e horário de coleta, e das técnicas de colheita e pós-colheita (Paula, 2019).

A idade e o estágio de desenvolvimento da planta são fatores relevantes, pois influenciam tanto a quantidade total de metabólitos secundários produzidos quanto às proporções relativas dos compostos que integram o óleo essencial (Millezi *et al.*, 2016). Nesse contexto, o estudo da idade da planta é fundamental uma vez que possibilita melhor aproveitamento pós-colheita, associado a melhor qualidade do produto e a menores perdas (Figueiredo *et al.*, 2009).

### 3.4 Ontogenia de plantas

Ontogenia é o estudo das origens e do desenvolvimento de um organismo, desde sua fase inicial até atingir sua forma plena, passando pelos diferentes estágios de desenvolvimento (Rogge-Renner *et al.*, 2017). Os estágios etários de plantas são geralmente caracterizados pelo aparecimento de estruturas que estavam ausentes em estágios mais recentes de desenvolvimento e pela perda de outras que estavam presentes, caracterizando as fases de vida de uma planta (Portela e Santos, 2011).

O desenvolvimento ontogenético das plantas pode ser subdividido em três estágios principais: plântula, juvenil e adulto. A intensidade das transformações ocorridas ao longo da ontogenética varia entre os estágios e pode ser estimada por meio de características biométricas, como a altura da planta, assim como por aspectos morfológicos que evidenciam modificações estruturais ao longo do crescimento (Araújo, Martins e Santos, 2008).

Lang (2014) em seu estudo considera valores específicos para classificação de fases das plantas, sendo plântulas com menos de 10 cm, juvenis entre 30 cm e 1,50 m e adultos com altura superior a 2 m. Cabe ressaltar que, após a germinação, diferentes espécies podem apresentar comportamentos morfológicos e fisiológicos distintos, o que dificulta a formulação de um conceito universal que caracteriza essas fases de forma precisa (Vidal, 2008).

Santiago *et al.* (2021) definem plântulas como o estágio em que a planta apresenta cotilédones desenvolvidos e o primeiro par de folhas, caracterizando o início do estabelecimento foliar. Na Figura 7, observa-se esse estágio na espécie de *Piper dilatatum*, apresentando 3 cm de altura e pares de folhas formados. A fase seguinte, juvenil, se caracteriza pelo crescimento dos órgãos vegetativos de forma intensificada e as reservas de substâncias orgânicas são acumuladas (Scaloppi Junior, 2007). A fase adulta das plantas corresponde ao período em que predominam características de maturidade, sendo essa etapa associada à fase reprodutiva (Silva, 2018).

Na ontogenia das plantas, existem dois processos principais que influenciam na forma como os recursos são distribuídos, o aumento do tamanho da planta e a mudança de prioridades funcionais ao longo de seu desenvolvimento (Alabarce, 2012). À medida que a planta cresce, prioriza o aumento do tamanho, enquanto em fases mais maduras pode investir mais em defesa. Como consequência, plantas em suas fases iniciais têm menos recursos disponíveis para se defender de herbívoros (Alabarce, 2012).

**Figura 7.** Plântula de *Piper dilatatum* com 3 cm de altura e par de folhas formadas.



Fonte: Autora (2025).

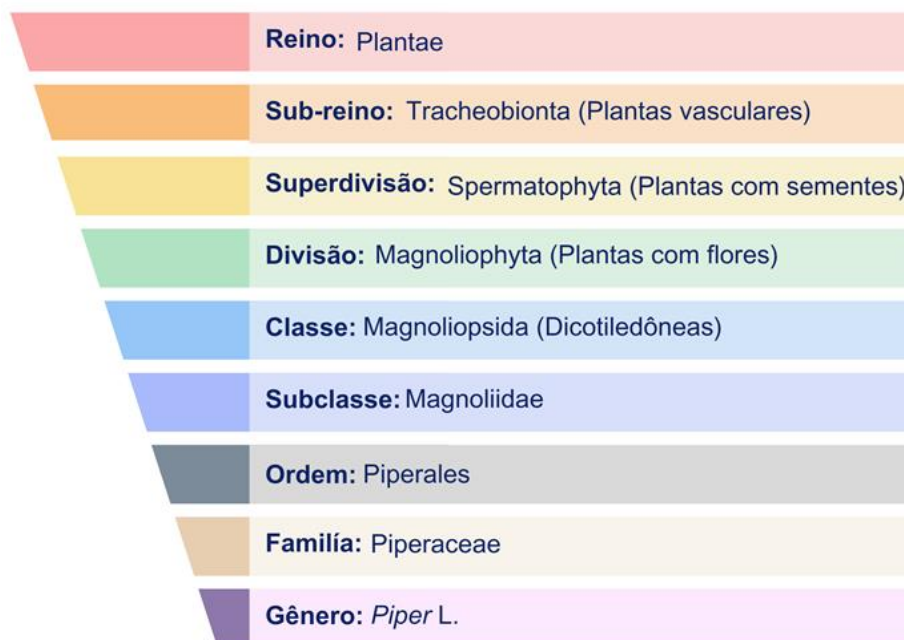
### 3.5 Família Piperaceae e gênero *Piper*

Piperaceae é uma grande família de angiospermas composta por cerca de 3700 espécies, sendo *Piper* um de seus gêneros mais representativos (Carvalho, 2023). Esta família é caracterizada por sua adaptação ecológica, ocorrendo em regiões tropicais e subtropicais, suas espécies variam em forma, desde pequenas árvores e arbustos até plantas herbáceas, além de apresentarem forte aroma, derivado de óleos essenciais armazenados em seus tecidos (Idrus *et al.*, 2025). A família Piperaceae é essencial para diversos setores econômicos devido a suas espécies apresentarem propriedades relevantes na agricultura, alimentos, medicamentos e cosméticos (Idrus *et al.*, 2025).

O gênero *Piper* inclui arbustos, subarbustos ou pequenas árvores com caules lignificados e folhas de variadas formas e consistências, apresentando inflorescências em espigas (Reflora, 2025). A taxonomia deste gênero, que compreende sua posição hierárquica no sistema de classificação botânica, pode ser visualizada na figura 8. As espécies de *Piper* apresentam uma variedade de fitoquímicos que conferem potencial biológico com diversas aplicações relatadas, como antifúngica, pesticida, antioxidante, antitumoral e tripanocida, entre outras (Santos, 2022). As espécies do gênero *Piper* podem ter seus óleos essenciais extraídos principalmente de partes aéreas como as folhas, que possuem alta capacidade de se regenerar, permitindo

colheitas periódicas ao longo do ano, assim suas espécies podem ser exploradas de forma não destrutiva (Raposo *et al.*, 2019).

**Figura 8.** Classificação taxonômica do gênero *Piper*.



Fonte: adaptado de Oyemitan (2017).

### 3.5.1 *Piper aduncum*

A *Piper aduncum* (Figura 9), popularmente conhecida como pimenta-de-macaco, é uma espécie que apresenta ampla distribuição geográfica, sendo comumente encontrada em regiões tropicais (Oliveira *et al.*, 2013). São arbustos ou arvoretas que podem atingir até 8 metros de altura, suas folhas constituem parte vegetativa de destaque, as quais apresentam formato elíptico a lanceolado, com base redonda ou cardulada e são ásperas ao tato (Fazolin *et al.*, 2006).

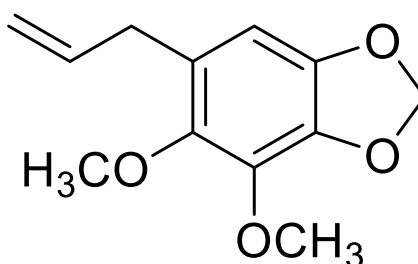
A *P. aduncum* é reconhecida como uma fonte abundante do fenilpropanóide dilapiol (Figura 10) e tem sido amplamente estudada devido ao seu potencial biológico (Gomes, *et al.*, 2024). Na literatura, algumas das atividades biológicas de seu óleo essencial incluem atividades: antimicrobiana (Ferreira, 2015); larvicida (Figueiredo, 2014); inseticida (Souto e Hadara, 2011) e acaricida (Araújo *et al.*, 2012).

**Figura 9.** *Piper aduncum*.



Fonte: Autora (2025).

**Figura 10.** Estrutura química do dilapiol.



Fonte: Autora (2025).

### 3.5.2 *Piper dilatatum*

A *Piper dilatatum* (Figura 11), popularmente conhecida como pimenta-brasileira, é uma planta tropical originária da América Central e do Sul, se desenvolvendo principalmente no bioma tropical úmido (Plants of the World Online, POWO, 2025). A espécie é um arbusto que pode atingir até 3 metros de altura com ramos estirados e tomentosos, caracteriza-se por apresentar folhas com formato cordiforme (em forma de coração), com textura marcante e coloração verde intensa (Guimarães e Silva, 2012).

As folhas dessa espécie são tradicionalmente utilizadas em tratamentos anti-inflamatórios e cicatrizantes, além de serem empregadas no alívio de crises de bronquite e asma (Silva, 2014). Andrade *et al.* (2011) analisaram amostras do óleo

essencial de *P. dilatatum* de diferentes localidades da Amazônia, verificando uma diversidade fitoquímica caracterizada principalmente pela presença de terpenóides como compostos majoritários. Estudos mais recentes demonstraram que o óleo essencial de *P. dilatatum* pode ser incorporado em nanoemulsões com potencial aplicação herbicida, evidenciando efeito significativo sobre o desenvolvimento de plantas daninhas (*Bidens pilosa*) (Vasconcelos *et al.*, 2023).

**Figura 11.** *Piper dilatatum*.



Fonte: Autora (2025).

### 3.5.3 *Piper hispidum*

A *Piper hispidum* (Figura 12) é conhecida principalmente como jaborandi, ou falso-jaborandi, é uma espécie nativa do México, com ampla distribuição pelos trópicos, incluindo a região da Amazônia brasileira (Dornelas Júnior, 2018). Trata-se de um arbusto que pode chegar a até 4 metros de altura, suas folhas possuem base assimétrica, e as inflorescências ocorrem em espigas eretas que medem entre 8 e 14 cm de comprimento (Dill, 2009).

A *Piper hispidum* é utilizada na farmacologia tradicional, com seu emprego no tratamento de feridas por suas propriedades cicatrizantes, além de atuar como adstringente, diurético e agente anti-hemorrágico (Dornelas Júnior, Bisi e Santos, 2020). Além das aplicações tradicionais, estudos demonstraram que fungos

endofíticos como *Aspergillus niger*, isolados da *P. hispidum* são capazes de produzir biossurfactantes com propriedades físico-químicas promissoras, o que evidencia o potencial biotecnológico da espécie (Silva *et al.*, 2021). Além disso, outras propriedades como antifúngica e no controle de pragas também são relatadas na literatura (Houël, *et al.* 2015; Silva, 2022b).

**Figura 12.** *Piper hispidum*.



Fonte: Autora (2025).

#### 3.5.4 *Piper umbellatum*

A *Piper umbellatum* (Figura 13) também conhecida como pariparoba é encontrada principalmente em vegetações rasteiras de florestas tropicais perenes, em clareiras e margens de rios, ocupando também ambientes úmidos. Trata-se de uma erva perene ou arbusto que pode atingir até 4 metros de altura, suas folhas são alternas, em formato circular a reniforme podendo chegar a 40 cm de largura (Prota, 2025).

A *Piper umbellatum* é utilizada em diferentes regiões do mundo tanto para fins terapêuticos quanto alimentícios, sendo tradicionalmente empregadas no tratamento de dores e processos inflamatórios, enquanto suas folhas também se destacam pelo uso como tempero e agente aromatizante em preparações culinárias (Peters, Baradum e Ohiri, 2022). Além de seu uso tradicional, diversos estudos científicos têm evidenciado a ocorrência de atividades biológicas relevantes associadas a essa

espécie, que englobam propriedades cancerígenas, antiinflamatórias, antidiabética e inseticida (Iwamoto *et al.*, 2015; Njateng *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2021)

**Figura 13.** *Piper umbellatum*.



Fonte: Autora (2025).

### 3.5.5 *Piper tuberculatum*

A *Piper tuberculatum* (Figura 14), popularmente conhecida como pimenta-longa, é uma espécie vastamente distribuída em florestas tropicais e subtropicais, caracterizada por seu rápido crescimento (Silva, 2024). A espécie é um arbusto que pode atingir até 2,5 metros de altura, suas folhas possuem bainha alada com nervuras ascendentes possuindo de 8 a 10 pares, dispostas até o ápice da lâmina, as inflorescências ocorrem em espigas eretas, com 5 a 10 cm de comprimento (Silva, 2024).

Segundo Leocadio (2024), a *P. tuberculatum* é uma planta com propriedades medicinais, utilizada na forma de infusão de seus frutos e folhas como analgésico, sedativo, além de antídoto para veneno de cobra e problemas estomacais. Suas atividades biológicas presentes na literatura incluem: antifúngica (Navickiene, *et al.*, 2006); larvicida (Leocadio, 2024); antiparasitária (Sales *et. al.*, 2018) e pesticida (Braga *et. al.*, 2018).

**Figura 14.** *Piper tuberculatum*.



Fonte: Autora (2025).

### **3.6 Atividade acetilcolinesterase**

A enzima acetilcolinesterase (AChE) tem a função de degradar o neurotransmissor acetilcolina (ACh) nas sinapses colinérgicas. Nessas sinapses, a ACh é responsável por transmitir sinais de um neurônio para outro. As sinapses colinérgicas estão presentes tanto no sistema nervoso central (SNC) quanto no sistema nervoso periférico (SNP), desempenhando um papel fundamental na manutenção de diversas funções fisiológicas do corpo humano (Westfall, T.C; Westfall, D.P. 2006).

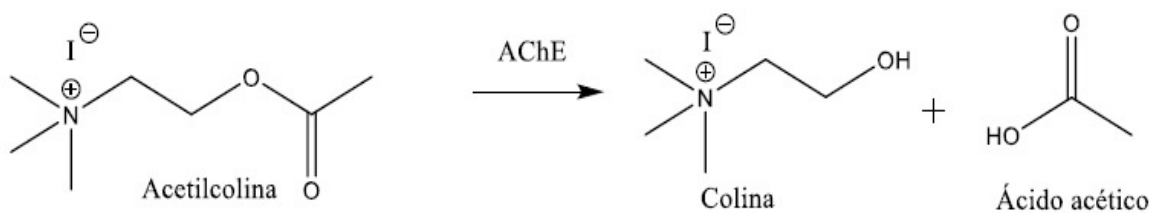
O sistema colinérgico faz parte da porção autônoma do sistema nervoso periférico, e ele funciona através de sinapses que usam a acetilcolina (ACh) como neurotransmissor. Nessas sinapses, existem enzimas chamadas colinesterases, que têm a função de quebrar a ACh em ácido acético e colina na fenda sináptica. Isso ajuda o neurônio a voltar ao seu estado de repouso depois de ser ativado. Existem dois tipos principais de colinesterases: a butirilcolinesterase (BuChE) e a acetilcolinesterase (AChE) (Colovic *et al.*, 2013).

A acetilcolinesterase (AChE) é a enzima que quebra a acetilcolina (ACh) na fenda sináptica, ajudando a encerrar a mensagem que ela transmite entre os

neurônios. A butirilcolinesterase (BuChE), por sua vez, é menos seletiva e consegue atuar tanto na ACh quanto na butirilcolina, em quantidades semelhantes (Pezzementi; Nachon; Chatonnet, 2011). No entanto, nos neurônios, a acetilcolina (ACh) é formada pela união da colina com a acetilcoenzima A, em uma reação catalisada pela enzima colina acetiltransferase. Depois de formada, ela fica armazenada em vesículas até que um estímulo faça com que seja liberada na fenda sináptica. Na qual, ela se liga aos receptores do neurônio pós-sináptico, transmitindo a mensagem. Após isso, a ACh se desliga do receptor e é degradada pela AChE, que a transforma em ácido acético e colina (Figura 15), encerrando a comunicação entre os neurônios (Fifer, 2007).

Vale destacar, que alguns pesticidas, como os carbamatos e organofosforados, podem inibir a ação da AChE e apesar de serem bastante tóxicos, esses produtos ainda são bastante usados na agricultura e em tarefas domésticas (Worek *et al.* 2005).

**Figura 15.** Reação de hidrólise da enzima acetilcolinesterase.



Fonte: Autora (2025).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Locais de realização da pesquisa

A presente pesquisa foi realizada no Laboratório de Produtos Naturais Bioativos (LPNBio) e no Laboratório de Investigação Química de Inseticidas Naturais (LABIQUIN), ambos localizados no Departamento de Química da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

### 4.2 Coletas do material vegetal

A coleta das folhas das espécies do gênero *Piper* em sua fase adulta foi realizada em dois lugares distintos, ambas em período vespertino, a primeira delas no campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) localizado em Dois Irmãos, Recife-PE para a espécie de *P. aduncum* e *P. tuberculatum*. A segunda coleta para as espécies de *P. hispidum*, *P. umbellatum* e *P. dilatatum* foi realizada na Cachoeira do Urubu, localizada em Primavera - PE, o mapa dos locais de coleta podem ser visualizados na Figura 16.

Figura 16. Mapa dos locais de coleta.



Fonte: Autora (2025).

### 4.3 Cultivo de plântulas

O cultivo das plântulas das espécies de *Piper* estudadas foi realizado inicialmente com a separação de espigas maduras para a remoção das sementes. Posteriormente, foram semeadas em substrato comercial (JR Agropecuária)

acondicionadas em potes plásticos sob temperatura de  $(25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C})$  e fotoperíodo de 12 horas. Após 2 meses observou-se o desenvolvimento dos primeiros pares foliares confirmando a fase de plântula (Figura 17).

**Figura 17.** Plântula de *Piper dilatatum* com 3 cm de altura e par de folhas formadas.

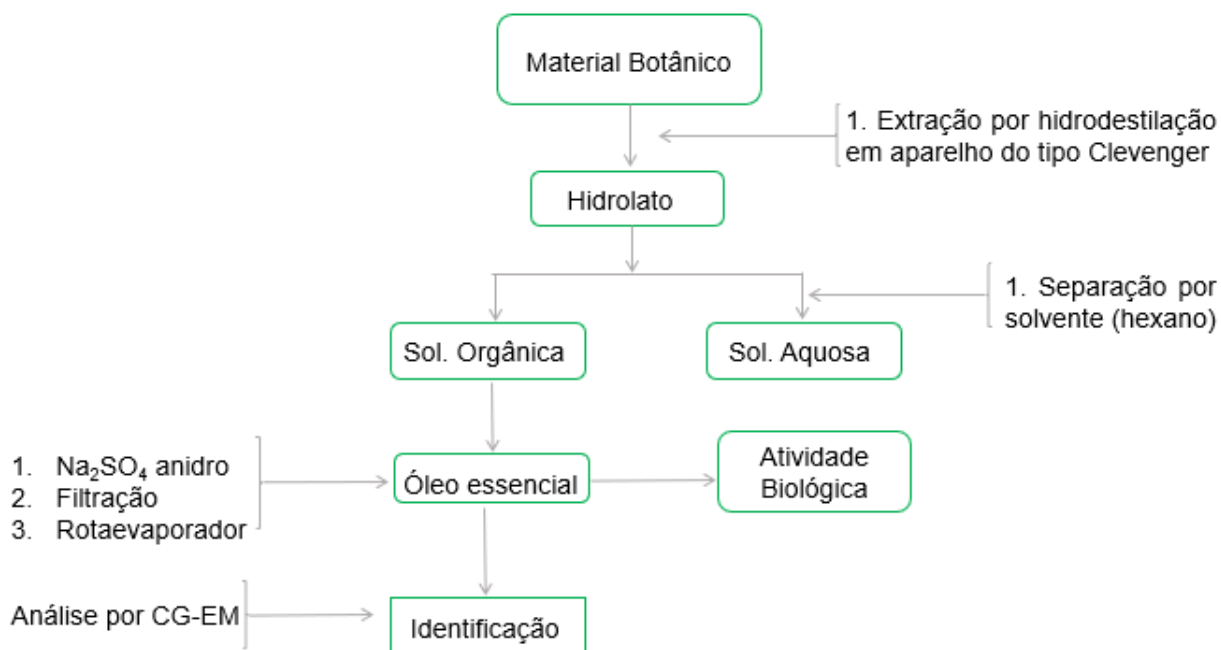


Fonte: Autora (2025).

#### 4.4 Obtenção dos óleos essenciais

Os óleos essenciais das folhas das espécies de *Piper* coletadas foram obtidos através da técnica de hidrodestilação em aparelho do tipo Clevenger modificado, após duas horas de extração o rendimento foi calculado com base no peso das folhas frescas (m/m).

Os óleos essenciais foram extraídos por adição de hexano ao hidrolato, a separação entre a fase aquosa e a fase orgânica ocorre com base na diferença de densidade entre os líquidos. Para eliminar os resquícios de água, a fase orgânica foi tratada com sulfato de sódio anidro. Após a secagem, a solução foi submetida à filtração e, posteriormente, o volume do solvente foi reduzido por evaporação a pressão reduzida no rota-evaporador, concentrando os compostos voláteis de interesse (Esquema 1). O óleo essencial obtido foi então transferido para um frasco de vidro hermeticamente fechado e armazenado a  $-5^\circ\text{C}$  para preservar sua composição química.

**Esquema 1.** Extração e tratamento de óleo essencial.

Fonte: Autora (2025).

#### 4.5 Identificação química por Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrometria de Massa (CG-EM)

A análise qualitativa por cromatografia gasosa – acoplada a espectrometria de massa (CG-EM) foi realizado utilizando um sistema cromatográfico CG-EM QP2010 SE Plus Shimadzu (Figura 18) com detector seletivo de massa, operando com um impacto de elétrons de 70 eV com intervalo de varredura de 0,5s e fragmentos de m/z 40 a 550 Da. com os seguintes parâmetros: gás de arraste = hélio, fluxo = 1 mL/min, modo Split (1:30); volume de injeção de 1µL diluído (1/100) do óleo em *n*-hexano. A identificação da composição química do óleo foi realizada por comparação com a literatura especializada (Adams, 2017) e pela comparação com padrões autênticos e com a própria biblioteca interna do equipamento.

**Figura 18.** Equipamento Cromatógrafo Gasoso acoplado a Espectrômetro de Massas.



Fonte: Autora (2025).

## 4.6 Atividades biológicas

### 4.6.1 Criação de *T. urticae* (ácaro rajado)

A criação foi mantida com plantações de feijões de porcos (*Canavalia ensiformes* L), onde foram cultivadas em vasos com capacidade de 5L, em substrato comercial (JR Agropecuária). Os vasos, que possuem as plantas no estágio adequado após 25 dias, são levados ao laboratório e infestados como representados na Figura 19.

**Figura 19.** Feijão de porco (*Canavalia ensiformes* L) sendo plantados (A), Plantação de Feijões de porco após 25 dias (B), Criação dos Ácaros rajados (C).



Fonte: Autora (2025).

#### 4.6.2 Bioensaio de Toxicidade residual

A metodologia foi adaptada de Ribeiro *et al.*, (2016). Os testes de contato residual foram realizados em placas de Petri (10 cm Ø e 1,5cm de altura), onde foram adicionados três discos de folhas de feijão-de-porco (2,5 cm Ø), colocados em discos de papel de filtro sobre espumas de polietileno, saturados com água destilada. Sobre esses discos foi pulverizada a solução da amostra a ser testada durante 15 segundos. Posteriormente, em cada disco adicionou-se 10 fêmeas adultas do *T. urticae* totalizando 30 ácaros por cada placa de Petri (Esquema 2).

**Esquema 2.** Bioensaio de contato residual.



Fonte: Autora (2025).

As concentrações aplicadas foram determinadas a partir de bioensaios preliminares de 1,0; 10,0 e 100 µL/mL. Para cada concentração de óleo testado o experimento foi realizado em triplicata, isto é, 90 ácaros para cada tratamento. O período de exposição dos óleos foi de 24h, depois de decorrido o tempo foi feita a avaliação. Na contagem considerou-se mortos os ácaros que apresentaram incapacidade de reagir à ação de um leve toque com o pincel de cerdas finas e caminhar uma distância superior ao comprimento de seu corpo.

#### 4.7 Teste de Inibição da enzima Acetilcolinesterase

A inibição da atividade da acetilcolinesterase (AChE) foi avaliada seguindo a metodologia de Araújo (2022), com algumas adaptações. Em cada poço de uma microplaca de 96 poços, foram adicionadas soluções contendo: 50  $\mu\text{L}$  de solução tampão de fosfato 50 mM pH 7,4, 125  $\mu\text{L}$  de ácido ditionitrobenzólico (DTNB, 3 mM em solução tampão de fosfato pH 7,4), 25  $\mu\text{L}$  de acetilcolinesterase (AChE de enguia elétrica, 1 U/mL em solução tampão de fosfato pH 7,4) e 25  $\mu\text{L}$  do óleo essencial diluído em metanol (MeOH). Essas misturas foram incubadas por 15 minutos a 25°C. Depois, foi adicionado 25  $\mu\text{L}$  de iodeto de acetilticolina (ACTI, 15 mM em solução tampão fosfato pH 7,4).

A atividade da AChE foi medida usando um leitor de microplacas ELISA EZ Read 2000, registrando a absorbância a 405 nm a cada 13 segundos, por cinco leituras consecutivas. Tanto os óleos essenciais quanto o controle positivo foram testados em concentrações variando de 100 a 0,78  $\mu\text{g/mL}$ . O cloridrato de donepezila foi utilizado como controle positivo. Todas as amostras foram analisadas em triplicata (conforme ilustrado no Esquema 3). Após a normalização dos dados, foi realizada uma curva de regressão não linear usando o programa estatístico GraphPad Prism v 9.

**Esquema 3.** Teste de inibição da enzima acetilcolinesterase.



Fonte: Autora (2025),

#### **4.8 Análises estatísticas**

Após atenderem aos testes de normalidade e homogeneidade de variância (Proc Univariate) os dados de mortalidade foram submetidos à ANOVA e as comparações das médias realizadas através do teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software SAS (versão 9.0) SAS INSTITUTE 2002. Foram determinadas as concentrações letais (CL<sub>50</sub>) dos óleos essenciais das espécies de *Piper*, por meio da análise de PROBIT através do software POLO-PC (Finney, 1971).

#### **4.9 Análise de Componentes Principais (PCA)**

Análise de componentes principais (PCA) foi realizada para avaliar a variação no perfil químico dos constituintes voláteis dos óleos essenciais das folhas das espécies de *Piper* estudadas em diferentes fases de desenvolvimento. Nesta análise multivariada (PCA) os dados obtidos foram submetidos ao software PAST 4.03. (Hammer *et al.*, 2001). Todas as amostras analisadas foram realizadas em triplicata.

## 5 RESULTADOS DISCUSSÃO

### 5.1 Composição química dos óleos essenciais

Os óleos essenciais das folhas das espécies de *Piper* estudadas nas fases plântula e adulta foram obtidos através da técnica de hidrodestilação e seus rendimentos podem ser verificados na Tabela 1. A caracterização dos óleos essenciais foi realizada por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG-EM).

**Tabela 1.** Rendimento dos óleos essenciais das folhas das espécies de *Piper* nas fases plântula e adulta.

<b>Espécie</b>	<b>Plântula (%)</b>	<b>Adulta (%)</b>
<i>P. aduncum</i>	0,196	2,000
<i>P. dilatatum</i>	0,523	0,059
<i>P. hispidum</i>	0,743	0,063
<i>P. umbellatum</i>	0,329	0,043
<i>P. tuberculatum</i>	0,019	0,030

### 5.2 Composição química dos óleos essenciais das folhas de *Piper aduncum* nas fases plântula e adulta

Os compostos identificados na análise da composição química dos óleos essenciais das folhas de *P. aduncum* nas fases plântula e adulta são apresentados na Tabela 2. Na fase de plântula foram identificados 4 compostos, todos da classe dos fenilpropanóides. Por outro lado, na fase adulta identificou-se 32 compostos das classes de monoterpenos, sesquiterpenos e fenilpropanóides. O dilapiol apresentou concentrações semelhantes em ambas as fases, sendo o composto majoritário nos dois estágios. Em estudo realizado por Assunção *et al.*, (2024), o óleo essencial da *P. aduncum* adulta coletada no estado do Rio de Janeiro, também apresentou o dilapiol (85,95%) como constituinte majoritário.

Na plântula destacam-se ainda majoritariamente os compostos miristicina (20,95%) que está presente na fase adulta em um percentual pequeno e a asaricina

(18,32%). Com isso, observou-se que durante a ontogenia da espécie estudada houve variação nos compostos biossintetizados. Os cromatogramas dos óleos essenciais das folhas de *P. aduncum* sobrepostos e as estruturas de seus compostos majoritários estão apresentados na Figura 20.

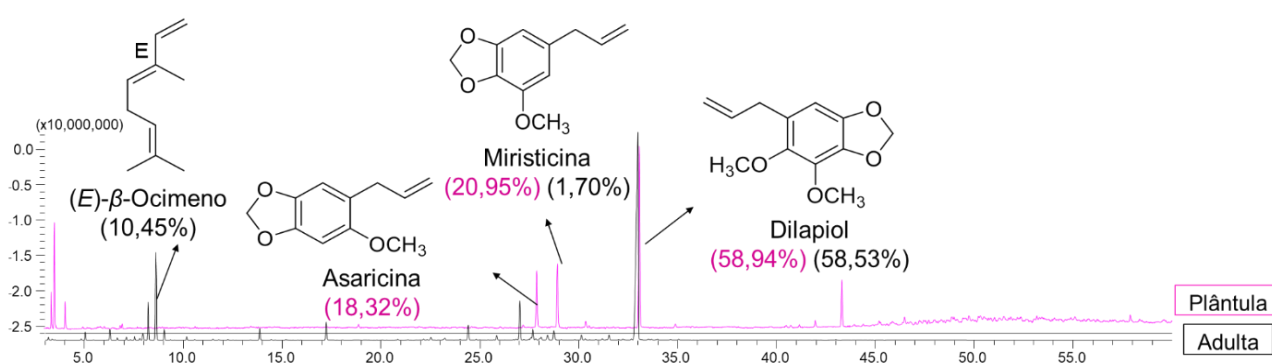
**Tabela 2.** Composição química dos óleos essenciais das folhas de *P. aduncum* nas fases plântula e adulta.

Nº	Composto	IR <sup>a</sup>	IR <sup>b</sup>	Plântula (%)	Adulta (%)	Método de Identificação
1	$\alpha$ -Pineno	802	932	-	0,76	IR, EM
2	Canfeno	830	946	-	0,03	IR, EM
3	$\beta$ -Pineno	882	974	-	1,12	IR, EM
4	Mirceno	909	988	-	0,27	IR, EM
5	$\alpha$ -Felandreno	960	1002	-	0,35	IR, EM
6	$\delta$ -3-Careno	982	1008	-	0,04	IR, EM
7	$\alpha$ -Terpineno	1001	1014	-	0,40	IR, EM
8	$\rho$ -Cimeno	1008	1020	-	0,22	IR, EM
9	Limoneno	1012	1024	-	0,93	IR, EM
10	(Z)- $\beta$ -Ocimeno	1020	1032	-	4,48	IR, EM
11	(E)- $\beta$ -Ocimeno	1030	1044	-	<b>10,45</b>	IR, EM
12	$\gamma$ -Terpineno	1042	1054	-	1,22	IR, EM
13	$\rho$ -Menta-2,4(8)-dieno		1085	-	0,42	IR, EM
		1073				
14	Terpinen-4-ol	1165	1174	-	1,63	IR, EM
15	$\alpha$ -Terpineol	1179	1186	-	0,07	IR, EM
16	Piperitona	1244	1249	-	2,61	IR, EM
17	$\delta$ -Elemeno	1328	1335	-	0,12	IR, EM
18	$\alpha$ -Cubebeno	1341	1348	-	0,03	IR, EM
19	Ciclosativeno	1359	1369	-	0,13	IR, EM
20	$\alpha$ -Copaeno	138	1374	-	0,41	IR, EM
21	$\beta$ -Elemeno	1384	1389	-	0,36	IR, EM
22	$\alpha$ -Gurjuneno	1402	1409	-	0,10	IR, EM
23	(E)-Cariofileno	1412	1417	-	2,25	IR, EM

24	$\beta$ -Copaeno	1422	1430	-	0,10	IR, EM
25	$\alpha$ -Humuleno	1447	1452	-	0,66	IR, EM
26	$\gamma$ -Muuroleno	1476	1478	-	6,15	IR, EM
27	Pentadecano	1491	1500	-	1,25	IR, EM
28	Asaricina	1494	1495	<b>18,32</b>	-	IR, EM
29	$\gamma$ -Cadineno	1510	1513	-	0,71	IR, EM
30	Miristicina	1518	1517	<b>20,95</b>	1,70	IR, EM
31	Germacreno B	1554	1559	-	0,76	IR, EM
32	Elimicina	1556	1555	1,79	-	IR, EM
33	( <i>E</i> )-Nerolidol	1559	1561	-	0,19	IR, EM
34	Dilapiol	1628	1620	<b>58,94</b>	<b>58,53</b>	IR, EM
Total				100	97,16	
Monoterpenos				-	23,80	
Sesquiterpenos				-	11,85	
Fenilpropanóide				100	60,23	

**IR<sup>a</sup>**: Índice de retenção calculado a partir dos tempos de retenção em relação aos de uma série de *n*-alcanos em uma coluna capilar DB-5 de 30m. **IR<sup>b</sup>** : Índices de retenção da literatura. IR: índice de retenção, EM: espectro de massa.

**Figura 20.** Cromatograma dos óleos essenciais das folhas de *P. aduncum* nas fases plântula e adulta.



Fonte: Autora (2025).

### 5.3 Composição química dos óleos essenciais das folhas de *Piper dilatatum* nas fases plântula e adulta

Os compostos identificados na análise da composição química dos óleos essenciais das folhas de *P. dilatatum* nas fases plântula e adulta são apresentados na Tabela 3. Na fase de plântula foram identificados 7 compostos, já na fase adulta 30 compostos, em ambas as fases a classe química dos sesquiterpenos foi majoritária. Esse resultado corrobora o estudo conduzido por Andrade *et al.* (2011), que analisaram 12 amostras de óleos essenciais extraídos de partes aéreas de *P. dilatatum* adulta, constatando a predominância de sesquiterpenos também nessas amostras.

Na plântula o selina-1,3,7(11)-trien-8-ona (42,17%) apresentou maior percentual seguido do (*E*)-Nerolidol (15,40%), o qual corresponde ao principal constituinte da fase adulta com 30,02%, assim como o  $\beta$ -Copaen-4- $\alpha$ -ol (23,93%). Os cromatogramas dos óleos essenciais das folhas de *P. dilatatum* sobrepostos e as estruturas de seus compostos majoritários estão apresentados na Figura 21.

**Tabela 3.** Composição química dos óleos essenciais das folhas de *P. dilatatum* nas fases plântula e adulta.

Nº	Composto	IR <sup>a</sup>	IR <sup>b</sup>	Plântula (%)	Adulta (%)	Método de Identificação
1	$\alpha$ -Pineno	803	932	-	0,29	IR, EM
2	Benzaldeído	852	952	-	1,15	IR, EM
3	$\beta$ -Pineno	883	974	-	0,60	IR, EM
5	$\rho$ -Cimeno	1009	1020	-	0,12	IR, EM
6	Limoneno	1013	1024	-	0,22	IR, EM
7	( <i>Z</i> )- $\beta$ -Ocimeno	1021	1032	-	0,91	IR, EM
8	( <i>E</i> )- $\beta$ -Ocimeno	1031	1044	-	0,56	IR, EM
9	$\alpha$ -Copaeno	1368	1374	-	0,94	IR, EM
10	$\beta$ - Bourboneno	1377	1387	-	0,73	IR, EM
11	$\beta$ -Elemeno	1384	1389	3,03	2,58	IR, EM
12	Cipereno	1392	1398	-	0,45	IR, EM

13	( <i>E</i> )-Cariofileno	1412	1417	3,91	2,56	IR, EM
14	$\alpha$ -trans-Bergamoteno	1489	1432	7,31	-	IR, EM
15	$\alpha$ -cis-Bergamoteno	1429	1411	-	1,05	IR, EM
16	$\alpha$ -Humuleno	1447	1452	-	0,65	IR, EM
17	9-epi-( <i>E</i> )-Cariofileno	1455	1464	-	1,11	IR, EM
18	Dauca-5,8-dieno	1476	1471	-	3,49	IR, EM
19	$\beta$ -Selineno	1481	1489	-	2,16	IR, EM
20	Biciclogermacreno	1492	1500	-	9,57	IR, EM
21	( <i>E,E</i> )- $\alpha$ -farneseno	1500	1505	-	1,18	IR, EM
22	$\beta$ -Bisaboleno	1502	1505	-	0,50	IR, EM
23	$\gamma$ -Cadineno	1510	1513	-	0,50	IR, EM
24	<i>Trans</i> -Calameno	1519	1521	-	0,57	IR, EM
25	Germacrene B	1554	1559	10,85	-	IR, EM
26	( <i>E</i> )-Nerolidol	1559	1561	<b>15,40</b>	<b>30,02</b>	IR, EM
27	$\beta$ -Copaen-4- $\alpha$ -ol	1576	1590	-	<b>23,93</b>	IR, EM
28	<i>Allo</i> -epóxido-Aromadendreno	1581	1639	-	4,38	IR, EM
29	(1,10-di- <i>epi</i> )-Cubenol	1602	1618	-	1,64	IR, EM
30	$\beta$ -Muurola-4,10(14)-dien-1-ol	1628	1630	-	1,83	IR, EM
31	Selina-1,3,7(11)-trien-8-ona	1630	1632	<b>42,17</b>	-	IR, EM
32	<i>Z</i> -Asarona	1638	1616	-	1,92	IR, EM
33	Germacrona	1697	1693	3,44	-	IR, EM
34	<i>E</i> -Asarona	1717	1675	-	0,65	IR, EM
Total				96,38	96,26	
Monoterpenos				-	2,70	
Sesquiterpenos				86,11	90,99	

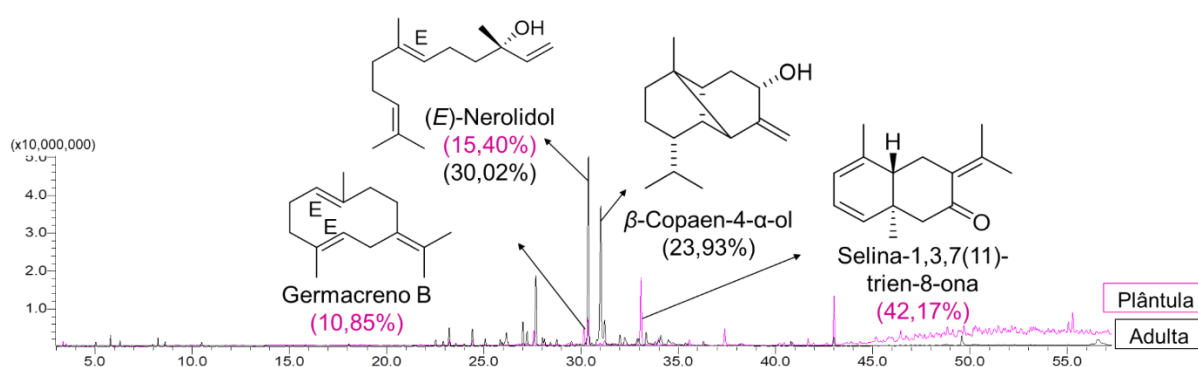
Fenilpropanóides

3,44

2,57

**IR<sup>a</sup>**: Índice de retenção calculado a partir dos tempos de retenção em relação aos de uma série de *n*-alcanos em uma coluna capilar DB-5 de 30m. **IR<sup>b</sup>** : Índices de retenção da literatura. IR: índice de retenção, EM: espectro de massa.

**Figura 21.** Cromatograma dos óleos essenciais das folhas de *P. dilatatum* nas fases plântula e adulta.



Fonte: Autora (2025).

### 5.3 Composição química dos óleos essenciais das folhas de *Piper umbellatum* nas fases plântula e adulta

Os compostos identificados na análise da composição química dos óleos essenciais das folhas de *P. umbellatum* nas fases plântula (6 compostos) e adulta (27 compostos) são apresentados na Tabela 4. No estágio de plântula apresentou-se majoritariamente a classe química de fenilpropanóides, com a (*Z*)-Isoeemicina (86,30%) como seu constituinte majoritário. Em contrapartida, na fase adulta foi observada maior predominância da classe química dos sesquiterpenos.

Os compostos majoritários identificados nessa fase foram o germacreno D (38,00%), resultado que corrobora o estudo de Mesquita *et al.* (2005), no qual o germacreno D (27,04%) também foi relatado como constituinte principal no óleo essencial das folhas de *P. umbellatum* adulta coletadas no estado de Minas Gerais. O (*E*)-Cariofileno (22,51%) também se destacou como componente majoritário na fase adulta. Os cromatogramas dos óleos essenciais das folhas de *P. umbellatum* sobrepostos e as estruturas de seus compostos majoritários estão apresentados na Figura 22.

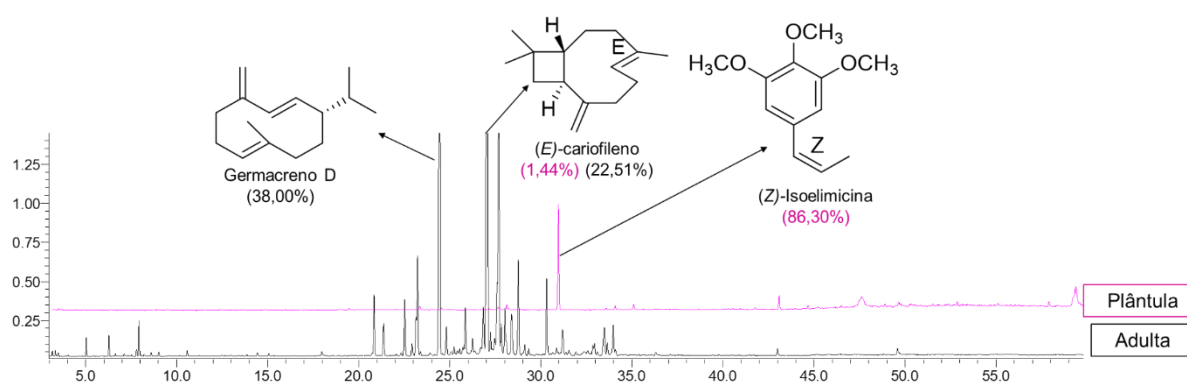
**Tabela 4.** Composição química dos óleos essenciais das folhas de *P. umbellatum* nas fases plântula e adulta.

Nº	Composto	IR <sup>a</sup>	IR <sup>b</sup>	Plântula (%)	Adulta (%)	Método de Identificação
1	$\beta$ -Pineno	882	974	-	0,44	IR, EM
2	$\rho$ -Cimeno	1008	1020	-	0,14	IR, EM
3	Limoneno	1012	1024	-	0,94	IR, EM
4	$\delta$ -Elemeno	1328	1335	-	1,91	IR, EM
5	$\alpha$ -Cubebeno	1341	1348	-	1,05	IR, EM
6	$\alpha$ -Copaeno	1368	1374	-	1,86	IR, EM
7	$\beta$ -Bourboneno	1377	1387	-	0,38	IR, EM
8	$\beta$ -Elemeno	1385	1389	2,52	3,33	IR, EM
9	( <i>E</i> )-Cariofileno	1413	1417	1,44	<b>22,51</b>	IR, EM
10	$\beta$ -Copaeno	1422	1430	-	0,73	IR, EM
11	$\alpha$ -Humuleno	1447	1452	-	1,42	IR, EM
12	<i>Cis</i> -Muurolo-4(14),5-dieno	1457	1465	-	0,36	IR, EM
13	$\gamma$ -Muuroloeno	1471	1478	-	1,50	IR, EM
14	Germacreno D	1477	1480	-	<b>38,00</b>	IR, EM
15	$\beta$ -Selineno	1481	1489	-	0,49	IR, EM
16	<i>trans</i> -Muurolo-4(14),5-dieno	1486	1493	-	0,24	IR, EM
17	Biciclogermacreno	1492	1500	-	9,27	IR, EM
18	$\alpha$ -Muuroloeno	1495	1500	-	0,68	IR, EM
19	Germacreno A	1500	1509	3,27	1,30	IR, EM
20	$\gamma$ -Cadineno	1509	1513	-	1,72	IR, EM
21	$\delta$ -Cadineno	1519	1519	-	3,45	IR, EM
22	Cadina-1,4-dieno	1528	1533	-	0,33	IR, EM
23	$\alpha$ -Cadineno	1533	1537	-	0,21	IR, EM
24	( <i>E</i> )-Nerolidol	1559	1561	-	2,52	IR, EM
25	( <i>Z</i> )-Isoelemicina	1573	1568	<b>86,30</b>	-	IR, EM
26	Óxido Cariofileno	1581	1582	-	0,94	IR, EM

27	<i>epi-α</i> -Muurolol	1641	1641	-	1,00	IR, EM
28	<i>α</i> -Cadinol	1654	1652	2,53	0,96	IR, EM
29	( <i>E</i> )-Asarona	1682	1675	3,94	-	IR, EM
Total				100	97,16	
Monoterpenos				-	3,43	
Sesquiterpenos				7,23	93,73	
Fenilpropanóides				92,77	-	

**IR<sup>a</sup>**: Índice de retenção calculado a partir dos tempos de retenção em relação aos de uma série de *n*-alcanos em uma coluna capilar DB-5 de 30m. **IR<sup>b</sup>** : Índices de retenção da literatura. IR: índice de retenção, EM: espectro de massa.

**Figura 22.** Cromatograma dos óleos essenciais das folhas de *P. umbellatum* nas fases plântula e adulta.



Fonte: Autora (2025).

#### 5.4 Composição química dos óleos essenciais das folhas de *Piper hispidum* nas fases plântula e adulta

Os compostos identificados na análise da composição química dos óleos essenciais das folhas de *P. hispidum* nas fases plântula e adulta são apresentados na Tabela 5. Na fase de plântula foram identificados 7 compostos já na fase adulta 28 compostos. No estágio de plântula, a classe dos sesquiterpenos apresentou maior percentual, seus constituintes majoritários identificados foram o Selina 1,3,7(11)-trien-8-ona (27,46%) e seu derivado, Óxido de selina 1,3,7(11)-trien-8-ona (23,55%).

Na fase adulta foram encontradas as classes químicas dos monoterpenos em um percentual menor, assim como dos sesquiterpenos como majoritários, tendo como principais constituintes o (*E*)-Cariofileno (15,02%) e o  $\beta$ -Selineno (14,86%). Salehi *et al.* (2019), também verificou que os compostos monoterpênicos e sesquiterpênicos na composição química do óleo essencial de *P. hispidum*, na Venezuela um dos seus constituintes majoritários também foi o  $\beta$ -Selineno (14,80%). Os cromatogramas dos óleos essenciais das folhas de *P. hispidum* sobrepostos e as estruturas de seus compostos majoritários estão apresentados na Figura 23.

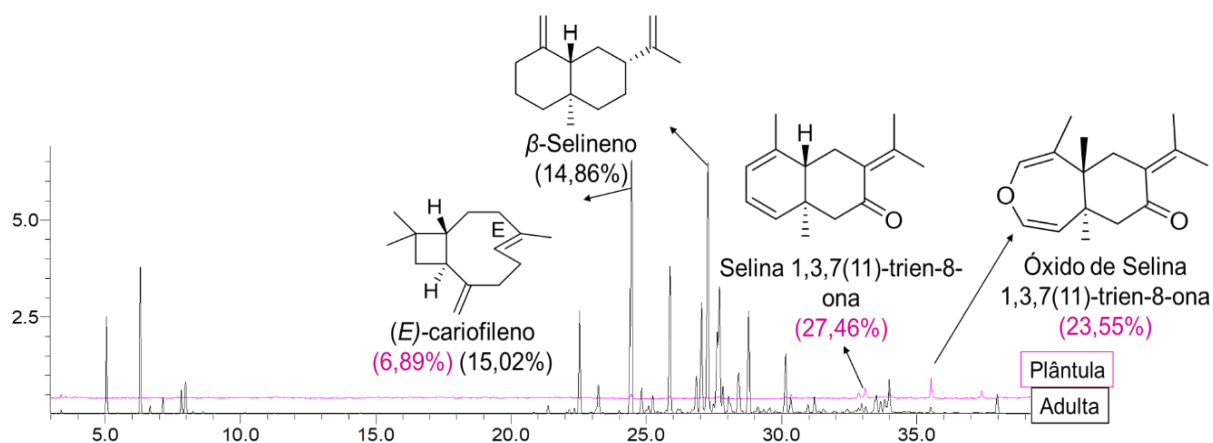
**Tabela 5.** Composição química dos óleos essenciais das folhas de *P. hispidum* nas fases plântula e adulta.

Nº	Composto	IR <sup>a</sup>	IR <sup>b</sup>	Plântula (%)	Adulta (%)	Método de Identificação
1	$\alpha$ -Pineno	803	932	-	3,42	IR, EM
2	$\beta$ -Pineno	883	974	-	5,58	IR, EM
3	Mirceno	911	988	-	0,27	IR, EM
4	$\alpha$ -Felandreno	962	1002	-	0,61	IR, EM
5	$\rho$ -Cimeno	1009	1020	-	0,96	IR, EM
6	Limoneno	1013	1024	-	1,60	IR, EM
7	( <i>Z</i> )- $\beta$ -Ocimeno	1021	1032	-	0,09	IR, EM
8	( <i>E</i> )- $\beta$ -Ocimeno	1031	1044	-	0,10	IR, EM
9	$\alpha$ -Cubebeno	1341	1348	-	0,43	IR, EM
10	$\alpha$ -Ylangeno	1363	1373	-	0,23	IR, EM
11	$\alpha$ -Copaeno	1368	1374	-	5,28	IR, EM
12	( <i>E</i> )-Cariofileno	1413	1417	6,89	<b>15,02</b>	IR, EM
13	$\beta$ -Copaeno	1423	1430	-	1,31	IR, EM
14	Aromadendreno	1433	1439	-	0,88	IR, EM

15	$\alpha$ -Humuleno	1448	1452	4,62	7,54	IR, EM
16	$\gamma$ -Muuroleno	1472	1478	-	2,08	IR, EM
17	Germacrene D	1476	1480	-	6,49	IR, EM
18	$\beta$ -Selineno	1482	1489	-	<b>14,86</b>	IR, EM
19	$\delta$ -Selineno	1490	1492	-	4,66	IR, EM
20	Biciclogermacreno	1493	1500	-	7,02	IR, EM
21	$\alpha$ -Muuroleno	1496	1500	-	1,44	IR, EM
22	$\alpha$ -Bulneseno	1501	1509	-	0,98	IR, EM
23	$\gamma$ -Cadineno	1510	1513	-	2,96	IR, EM
24	$\delta$ -Cadineno	1520	1522	-	5,50	IR, EM
25	Cadina-1,4-dieno	1528	1533	-	0,19	IR, EM
26	Germacreno B	1554	1559	-	3,23	IR, EM
27	Dilapiol	1554	1620	13,96	-	IR, EM
28	Selina 1,3,7(11)- trien-8-ona	1559	1632	<b>27,46</b>	-	IR, EM
29	(E)-Nerolidol	1559	1561	10,93	0,93	IR, EM
30	Eudesm-7(11)-en- 4-ol	1630	1700	12,59	-	IR, EM
31	$\alpha$ -Muurolol	1641	1644	-	1,16	IR, EM
32	Óxido de Selina 1,3,7(11)-trien-8- ona	1655	1746	<b>23,55</b>	-	IR, EM
Total				100	94,82	
Monoterpenos				-	12,62	
Sesquiterpenos				86,04	82,19	
Fenilpropanóides				13,96	-	

**IR<sup>a</sup>**: Índice de retenção calculado a partir dos tempos de retenção em relação aos de uma série de *n*-alcanos em uma coluna capilar DB-5 de 30m. **IR<sup>b</sup>** : Índices de retenção da literatura. IR: índice de retenção, EM: espectro de massa.

**Figura 23.** Cromatograma dos óleos essenciais das folhas de *P. hispidum* nas fases plântula e adulta.



Fonte: Autora (2025).

### 5.5 Composição química dos óleos essenciais das folhas de *Piper tuberculatum* nas fases plântula e adulta

Os compostos identificados na análise da composição química dos óleos essenciais das folhas de *P. tuberculatum* nas fases plântulas e adultas são apresentados na Tabela 6. Na fase de plântula foram identificados 3 compostos apresentando como majoritários as amidas pellitorina (45,68%) e piperina (45,63%), que são frequentemente encontradas no extrato dessa planta. Araújo *et al.*, (2019), identificou e isolou a piperina no extrato da *P. tuberculatum*. Não foram encontrados na literatura relatos de amidas na composição química do óleo essencial de *P. tuberculatum*.

Na fase adulta identificou-se 24 compostos das classes de monoterpenos e sesquiterpenos, não apresentando amidas como na fase inicial. Cysne *et al.* (2005), também constataram as classes químicas de monoterpenos e sesquiterpenos na composição química do óleo essencial desta espécie coletadas no Ceará. Os cromatogramas dos óleos essenciais de *P. tuberculatum* sobrepostos e as estruturas de seus compostos majoritários estão apresentados na Figura 24.

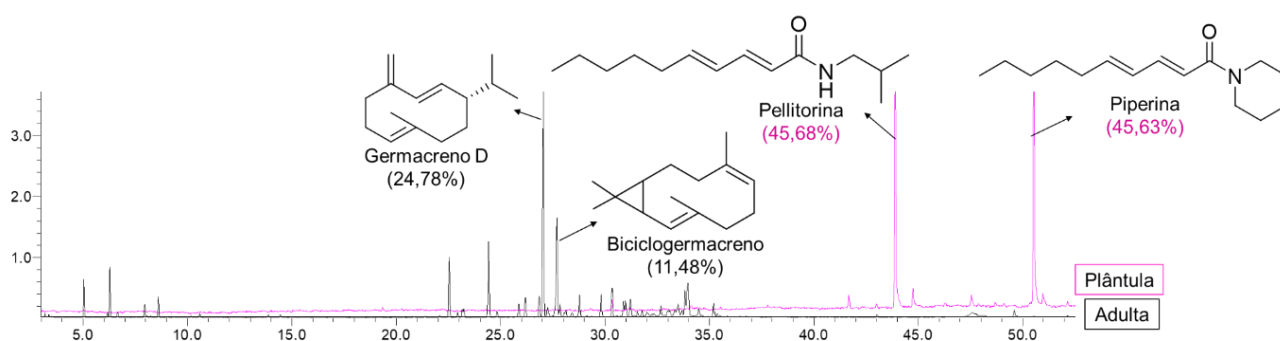
**Tabela 6.** Composição química dos óleos essenciais das folhas de *P. tuberculatum* nas fases plântula e adulta.

Nº	Composto	IR <sup>a</sup>	IR <sup>b</sup>	Plântula (%)	Adulta (%)	Método de Identificação
1	$\alpha$ -Pineno	906	932	-	2,59	IR, EM
2	$\beta$ -Pineno	952	974	-	3,77	IR, EM
3	Limoneno	1009	1024	-	1,11	IR, EM
4	( <i>E</i> )- $\beta$ -Ocimeno	1027	1044	-	1,69	IR, EM
5	$\alpha$ -Copaeno	1360	1374	-	6,23	IR, EM
6	$\beta$ -Cubebene	1374	1387	-	0,90	IR, EM
7	$\beta$ -Elemeno	1376	1389	-	0,83	IR, EM
8	( <i>E</i> )-Cariofileno	1403	1417	-	8,31	IR, EM
9	$\alpha$ -Muuroleno	1437	1452	-	1,29	IR, EM
10	<i>allo</i> - Aromadendreno	1444	1458	-	2,16	IR, EM
11	$\gamma$ -Muuroleno	1460	1374	-	2,15	IR, EM
12	Germacreno D	1465	1480	-	<b>24,78</b>	IR, EM
13	$\beta$ -Selineno	1470	1489	-	1,37	IR, EM
14	Biciclogermacreno	1480	1500	-	<b>11,48</b>	IR, EM
15	$\alpha$ -Muuroleno	1483	1500	-	1,48	IR, EM
16	$\delta$ -Cadineno	1506	1522	-	2,26	IR, EM
17	Elemol	1532	1548	-	2,46	IR, EM
18	<i>E</i> -Nerolidol	1545	1561	2,27	2,97	IR, EM
19	Germacreno D-4-ol	1558	1574	-	1,68	IR, EM

20	Espatulenol	1560	1577	-	1,67	IR, EM
21	<i>epi</i> - $\alpha$ -Muurolol	1624	1640	-	1,78	IR, EM
22	Eudesmol	1632	1649	-	2,85	IR, EM
23	$\alpha$ -Cadinol	1636	1652	-	5,55	IR, EM
24	Bulnesol	1649	1679	-	0,75	IR, EM
26	Pellitorina	1938	-	<b>45,68</b>	-	
27	Piperina	2150	-	<b>45,63</b>	-	
Total				91,31	92,11	
Monoterpenos				-	9,16	
Sesquiterpenos				2,27	82,95	
Fenilpropanóides				-	-	
Amida alcalóide				91,31	-	

**IR<sup>a</sup>**: Índice de retenção calculado a partir dos tempos de retenção em relação aos de uma série de *n*-alcanos em uma coluna capilar DB-5 de 30m. **IR<sup>b</sup>** : Índices de retenção da literatura. IR: índice de retenção, EM: espectro de massa.

**Figura 24.** Cromatogramas do óleo essencial das folhas de *P. tuberculatum* nas fases plântula e adulta.



Fonte: Autora (2025).

## 5.6 Análise PCA do perfil químico das plântulas e plantas adultas de espécies de *Piper*

A análise de Componentes Principais (PCA) foi realizada com objetivo de investigar possíveis diferenças na composição química dos óleos essenciais de folhas de plântulas e plantas adultas de cinco espécies do gênero *Piper*: *P. aduncum*, *P. dilatatum*, *P. hispidum*, *P. umbellatum* e *P. tuberculatum*.

O gráfico de scores (Figura 25 A), baseado nos dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2), os quais explicam conjuntamente 71% da variância total (43% e 28%, respectivamente), evidenciou a formação de quatro grupos distintos de acordo com a espécie e a fase ontogenética das plantas. O grupo I agrupou *P. aduncum* plântula (PA\_PL) e adulta (PA\_AD), devido à presença elevada de dilapiol, o qual em ambas as fases, foi o composto majoritário (58,94% e 58,53%, respectivamente). O grupo II uniu plântulas de *P. hispidum* (PH\_PL) e *P. dilatatum* (PD\_PL), bem como plantas adultas de *P. tuberculatum* (PT\_AD) e *P. hispidum* (PH\_AD). A formação desse grupo está relacionada à predominância de compostos da classe dos sesquiterpenos.

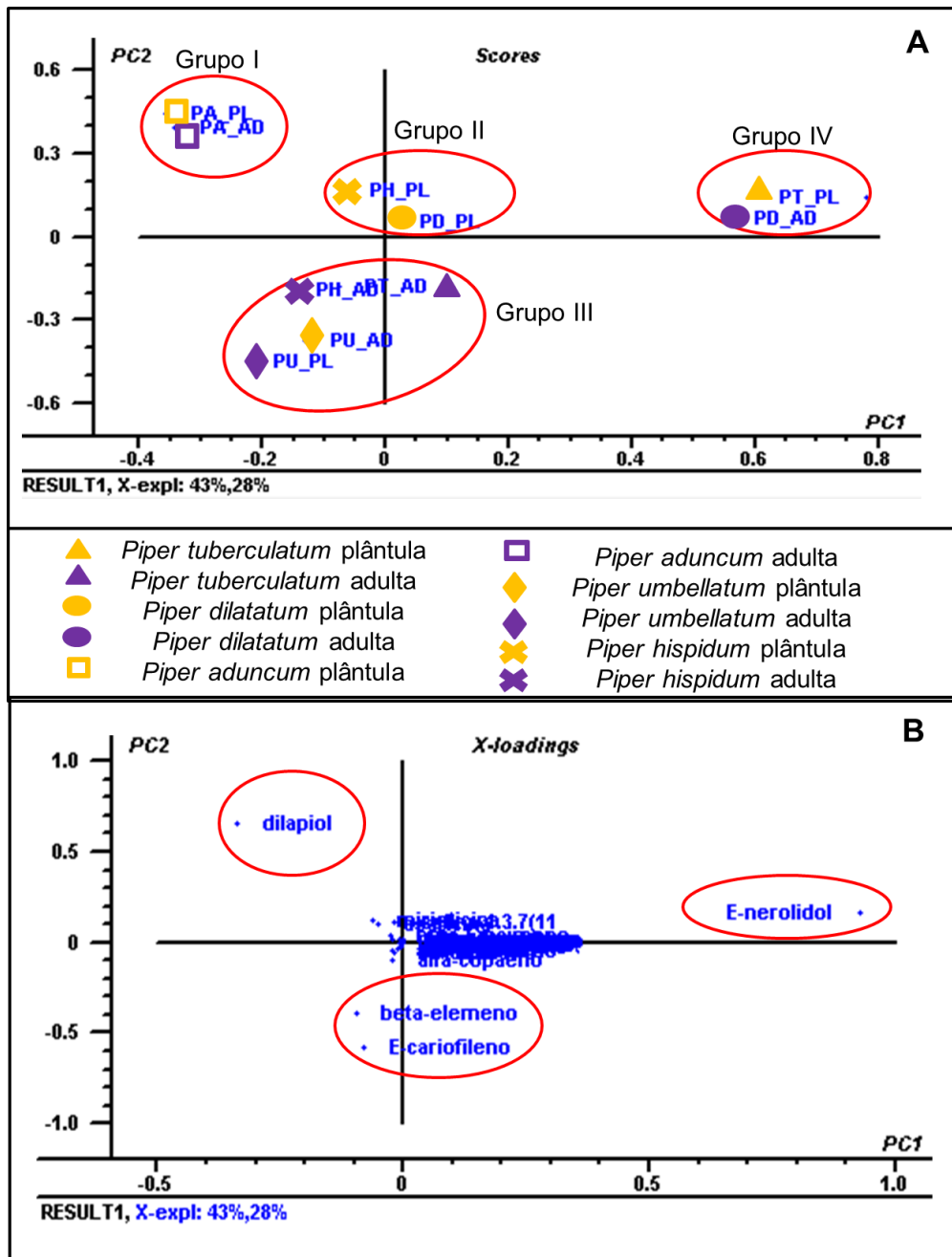
O Grupo III agrupou plântula e planta adulta de *P. umbellatum* (PU\_PL e PU\_AD), por ambas apresetarem o  $\beta$ -elemeno e (*E*)-cariofileno como constituintes químicos relevantes. O Grupo IV composto por plântula de *P. tuberculatum* (PT\_PL) e planta adulta de *P. dilatatum* (PD\_AD) apresentou (*E*)-Nerolidol em suas composições, sendo o composto majoritário na PD\_AD.

A análise de loadings (Figura 25 B) corrobora essas distinções, indicando os compostos que mais influenciaram na separação dos grupos. Observa-se, por exemplo, que o dilapiol está correlacionado ao eixo PC2, contribuindo para o distanciamento do Grupo I em relação aos demais. Por outro lado, o (*E*)-Nerolidol mostrou-se predominante para o agrupamento das amostras do Grupo IV ao longo do eixo PC1.

A separação entre os Grupos I e IV destaca a ausência de (*E*)-Nerolidol em *P. aduncum*, bem como a ausência de dilapiol nas espécies que compõem o Grupo IV, reforçando a especificidade da composição química em função tanto da espécie quanto da fase ontogenética.

Esses resultados confirmam a hipótese de que o perfil químico dos óleos essenciais varia entre as espécies do gênero *Piper* e ao longo de seu desenvolvimento, evidenciando o potencial da PCA para diferenciação na caracterização química e ontogenética das espécies estudadas.

**Figura 25.** Gráficos de scores (A) e de loadings (B) da análise de componentes principais dos óleos essenciais de *P. aduncum*, *P. dilatatum*, *P. hispidum*, *P. umbellatum* e *P. tuberculatum*.



Fonte: Autora (2025).

## 5.7 Atividade acaricida dos óleos essenciais na fase adulta

A partir do bioensaio por contato residual realizado sobre *T. urticae*, verificou-se que os óleos essenciais apresentaram potencial acaricida, se mostrando tóxico frente à praga. Ambos os óleos exibiram um comportamento dose-dependente, no qual o aumento da concentração resultou no aumento proporcional da mortalidade. Destacando-se o óleo essencial de *P. dilatatum* como espécie com maior eficácia, apresentando  $CL_{50} = 3,65\mu\text{L/mL}$ , valor próximo ao encontrado no acaricida comercial Azamax<sup>®</sup>, já o Ortus<sup>®</sup> foi 30 vezes mais tóxico.

Entretanto, acaricidas comerciais apresentam limitações, como populações resistentes, em razão de conterem apenas um princípio ativo e podem deixar resíduos no meio ambiente devido à sua bioacumulação (Maciel, 2018). Os resultados apresentados na Tabela 7 evidenciam o potencial acaricida dos óleos essenciais testados, destacando-os como controles alternativos promissores ao uso de acaricidas comerciais, uma vez que são voláteis, não geram resíduos e são constituídos por diversos compostos bioativos.

**Tabela 7.** Toxicidade por contato residual ( $CL_{50}$  em  $\mu\text{L/mL}$ ) dos óleos essenciais de *Piper* na fase adulta e acaricidas comerciais.

Amostra	N	G.L	Inclinação $\pm$ E.P	$CL_{50}$ (IC95%)	$\chi^2$
<i>P. dilatatum</i>	399	8	0,18 $\pm$ 0,23	3,65 (2,90 - 4,45)	9,83
<i>P. aduncum</i>	504	6	1,87 $\pm$ 0,19	5,42 (4,48 - 6,88)	3,15
<i>P. hispidum</i>	300	6	1,13 $\pm$ 0,98	13,45 (12,4 - 14,4)	6,75
<i>P. umbellatum</i>	301	6	1,74 $\pm$ 0,19	18,63 (14,7 - 24,7)	4,27
<i>P. tuberculatum</i>	304	6	2,11 $\pm$ 0,28	16,46 (13,6 - 19,9)	5,49
Azamax <sup>®</sup>	300	6	1,55 $\pm$ 0,09	3,49 (2,61 - 3,99)	0,97
Ortus <sup>®</sup>	720	6	1,22 $\pm$ 0,08	0,12 (0,08 - 0,16)	7,37

**N:** Número de ácaros utilizados.  **$CL_{50}$ :** Concentração letal média para reduzir a população em 50%.

**E.P.:** Erro padrão.  **$\chi^2$ :** Qui-quadrado. **G.L.:** Grau de Liberdade.

### 5.8 Atividade acetilcolinesterase dos óleos essenciais das espécies do gênero *Piper* em sua fase adulta

Na tabela 8 é apresentado os resultados da  $CI_{50}$  referente à atividade da acetilcolinesterase dos diferentes óleos essenciais das plantas na fase adulta do gênero *Piper*. Assim como o controle positivo, o cloridrato de donepezila, fármaco com efeito comprovado sobre a enzima, além de acaricidas empregados no controle químico de *T. urticae*.

Os óleos essenciais testados foram *P. aduncum* ( $IC_{50} = 4,24\mu\text{g/mL}$ ), *P. dilatatum* ( $IC_{50} = 16,37\mu\text{g/mL}$ ), *P. umbellatum* ( $IC_{50} = 3,00\mu\text{g/mL}$ ), *P. hispidum* ( $IC_{50} = 1,53\mu\text{g/mL}$ ), *P. tuberculatum* ( $IC_{50} = 1,60\mu\text{g/mL}$ ), o Cloridrato de donepezila ( $IC_{50} = 5,95\mu\text{g/mL}$ ) além dos acaricidas Azamax<sup>®</sup> ( $IC_{50} = 3,67\mu\text{g/mL}$ ) e Lannate<sup>®</sup> ( $IC_{50} = 2,92\mu\text{g/mL}$ ).

**Tabela 8.** Atividade de inibição da enzima AChE  $\mu\text{g/mL}$  do óleo essencial das espécies de *Piper* na fase adulta.

Amostras	$CI_{50}$ $\mu\text{g/mL}$ (IC 95%)
<i>P. aduncum</i>	4,24 (2,00 – 5,38)
<i>P. dilatatum</i>	16,37 (12,28 – 33,44)
<i>P. umbellatum</i>	3,00 (1,24 – 4,56)
<i>P. hispidum</i>	1,53 (1,26 – 5,93)
<i>P. tuberculatum</i>	1,60 (0,30 – 2,79)
Cloridrato de donepezila	5,95 (4,50 – 7,40)
Azamax <sup>®</sup>	3,67 (2,37 – 7,67)
Lannate <sup>®</sup>	2,92 (1,72 - 3,70)

$CI_{50}$ : Concentração Inibitória média de AChE; **IC**: Intervalo de Confiança.

Os óleos essenciais de *P. umbellatum*, *P. hispidum* e *P. tuberculatum* demonstraram maior toxicidade em comparação com o controle positivo, o cloridrato

de donepezila. Silva et al. (2014) também investigaram a atividade da acetilcolinesterase de óleos essenciais extraídos de partes aéreas de três espécies de *Piper* (*P. hispidum*, *P. aleyreanum* e *P. anonifolium*) e observaram que os óleos de *P. anonifolium* e *P. hispidum* apresentaram Dose Letal (DL = 0,01 µg), sendo 100 vezes mais ativos do que a fisostigmina (DL = 1,0 µg), um inibidor anticolinérgico. Esses resultados indicam que a ação sobre a via da acetilcolinesterase nos óleos essenciais das espécies de *Piper* pode estar associada ao elevado teor de compostos sesquiterpênicos presentes em sua composição (Silva et al., 2014).

O óleo essencial da espécie *P. aduncum* apresentou uma Concentração Inibitória média da enzima AChE equivalente àquelas observadas para os controles Lannate® e Cloridrato de donepezila. Além disso, o óleo essencial de *Piper dilatatum*  $Cl_{50} = 16,37\mu\text{g/mL}$  quando comparado com o controle positivo foi três vezes menos tóxica do que a do controle cloridrato de donepezila. Esse resultado pode indicar que o seu modo de ação no combate a praga é por outra via. De acordo com o IRAC (2025), existe uma classificação de 37 modo de ação de inseticidas e acaricidas nos quais na literatura os que mais são destacados são os inibidores de acetilcolinesterase (AChE), bloqueadores dos canais de cloreto (GABA) e os canais de sódio.

Além disso, o óleo essencial de *P. dilatatum* demonstrou potencial promissor no uso como um acaricida por além de apresentar um menor potencial inibitório da enzima acetilcolinesterase também apresentou uma menor Concentração Letal média ( $CL_{50} = 3,65\mu\text{L/mL}$ ) comparado a outras espécies. Segundo Tinoco, Silva e Rocha (2023) na escolha de um inseticida ou acaricida, devem ser considerados os produtos menos tóxicos para o homem e que causem menor impacto sobre os inimigos naturais.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da ontogenia das espécies do gênero *Piper* possibilitou a caracterização da composição química dos óleos essenciais das folhas nas fases de plântula e adulta. A análise de componentes principais (PCA) evidenciou variações nos perfis químicos ao longo do desenvolvimento ontogenético, ampliando o conhecimento sobre a diversidade metabólica dessas espécies.

Os óleos essenciais foram testados frente ao *T. urticae* a partir do bioensaio de contato residual e apresentaram atividade acaricida com destaque para *P. dilatatum*, que apresentou maior potencial comparado as outras espécies. Os resultados são relevantes para o controle alternativo de ácaros, uma vez que os óleos essenciais apresentam vantagens, incluindo baixa persistência ambiental, volatilidade, diversidade de princípios ativos e menor risco de seleção rápida de populações resistentes, aspectos frequentemente associados aos acaricidas sintéticos.

Nos ensaios de inibição da acetilcolinesterase (AChE), os óleos de *P. hispidum*, *P. tuberculatum* e *P. umbellatum* foram mais ativos que o controle positivo (donepezila), indicando possível ação neurotóxica associada à presença de sesquiterpenos. O óleo essencial de *P. aduncum* também se destacou por apresentar uma Concentração Inibitória média da enzima AChE equivalente àquela observada para os controles Lannate® e cloridrato de donepezila. Já *P. dilatatum*, apesar de menor inibição da AChE, mostrou forte atividade acaricida, sugerindo atuação por outra via.

Portanto, este estudo reforça a importância do aprofundamento das investigações sobre metabólitos de origem vegetal, tanto pela contribuição ao conhecimento científico da fitoquímica como no potencial dos óleos essenciais como alternativas naturais no controle de pragas, aliando eficácia biológica à menor toxicidade ambiental.

## REFERÊNCIAS

ACUÑA, P. M. A. R. *et al.* Biología del ácaro *Tetranychus urticae* y su control utilizando canela, en plantas de *Rosa* spp. **Revista Espamciencia**, v. 13, n. 2, p. 34-39, 2022.

ADAMS, R. **Identification of essential oil components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry**. Allured Publishing Corporation, Ed. 4.1, 2017.

AGUIAR, J. C. R. O. F. de *et al.* **Formulação de uma microemulsão larvicida e deterrente de oviposição da selina-1,3,7(11)-trien-8-ona e epóxido de selina-1,3,7(11)-trien-8-ona aplicada no controle do mosquito *Aedes aegypti***. BR 102022019856-0 A2. Depósito em: 30 set. 2022. Publicação em: 16 abr. 2024.

ALABARCE, Fernanda. **Influência do tamanho da semente e da ontogenia na resistência à herbivoria em plantas de *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae)**. Dissertação (Mestrado em Botânica), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

ALMEIDA, J. C. de; ALMEIDA, P. P. de; GHERARDI, S. R. M. Potencial antimicrobiano de óleos essenciais: uma revisão de literatura de 2005 a 2018. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 17, n. 01, p. 9921–9936, jan./fev. 2020.

ANDRADE, E. H. A. *et al.* Variability in essential oil composition of *Piper dilatatum* L.C. Rich. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 39, p. 669–675, 2011.

ARAÚJO, C. A. **Bioprospecção de Espécies de Piper Através de Técnicas Metabolômicas: Busca por Moléculas/Formulações com Potencial Inseticida Contra *Plutella xylostella***. Tese de doutorado. Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2022.

ARAÚJO, C. A.; SANTOS, R. B.; Moraes, M. M.; CAMARA, C. A. G. Atividade Inseticida de amidas isoladas das folhas de *Piper tuberculatum* sobre a *Plutella xylostella*. In: **XI brazilian meeting on chemical ecology - XI EBEQ, 2019**, Maceió. 2019.

ARAÚJO, E. de L.; MARTINS, F. R.; SANTOS, F. A. M. Ontogenia e variações alométricas na relação comprimento-diâmetro do caule em plantas lenhosas da Caatinga. In: MOURA, A. N.; ARAÚJO, E. L.; ALBUQUERQUE, U. P. (Orgs.). **Biodiversidade, potencial econômico e processos ecofisiológicos em ecossistemas nordestinos**. Recife: Comunigraf, v.1, p. 81-104, 2008.

ARAÚJO, M. J. Acaricidal activity and repellency of essential oil from *Piper aduncum* and its components against *Tetranychus urticae*. *Exp. Appl. Acarol.* 57: 139-155, 2012.

ARTHROPOD PESTICIDE RESISTANCE DATABASE. **Arthropod pesticide resistance database**. Disponível em: <https://www.pesticideresistance.org>. Acesso em: 1 jun. 2025.

ASSUNÇÃO, J. A. S. *et al.* Insecticidal activity of essential oils from *Piper aduncum* against *Ctenocephalides felis felis*: a promising approach for flea control. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 33, 2024.

BARBOSA, E. P. *et al.* Controle biológico com ácaros predadores e seu papel no manejo integrado de pragas. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2017.

BORGES, L. P.; AMORIM, V. A. Metabólitos secundários de plantas. **Revista Agrotecnologias**, Ipameti, v.11, n1, p. 54-67, 2020.

BRAGA, A. G. S. *et al.* Acaricidal activity of extracts from different structures of *Piper tuberculatum* against larvae and adults of *Rhipicephalus microplus*. **Acta Amazônica**, v. 48, p. 57-62, 2018.

CANOVA, L. dos S. **Determinação de compostos voláteis em leite UHT utilizando microextração em fase sólida e cromatografia a gás acoplada a espectrômetro de massas (HS-SPME-GC-MS)**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

CARVALHO, Ê. S. **Estudo químico e biológico de óleos essenciais extraídos de três espécimes amazônicos da família Piperaceae**. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2023.

CAVALCANTE, R. E. R. **Potencial acaricida de óleos essenciais de plantas medicinais sobre *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Agrônômica) – IF Sertão-PE, Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina, PE, 2021.

CHOI, W. I. *et al.* Toxicity of plant essential oils to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 97, n. 2, p. 553–558, 2004.

COLOVIC, M. B. *et al.* Acetylcholinesterase inhibitors: pharmacology and toxicology. **Current neuropharmacology**, v. 11, n. 3, p. 315-335, 2013.

CORREIA, M. da C. A. *et al.* Alecrim: Benefícios no Cuidado Integral à Saúde Física e Mental. **Cadernos de Agroecologia**, v. 20, n. 1, 2025.

CORREIA, M. M.; MORAES, M. M.; CÂMARA, C. A. Composição química, mistura e atividade acaricida de óleos essenciais de *Piper aduncum* e *Melaleuca leucadendra*. **Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 5, 2019.

CYSNEA J. B. *et al.* Leaf essential oils of four *Piper* species from the State of Ceará-Northeast of Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**. São Paulo, v.16. 2005.

DILL, L. S. M. **Estudo fitoquímico dos constituintes voláteis e fixos de *Piper hispidum* Sw. e avaliação in vitro da atividade leishmanicida e antiplasmodial.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2009.

DORNELAS JÚNIOR, L. F. **Regeneração de plantas de *Piper hispidum* a partir de estacas foliares.** Dissertação de Mestrado. Porto Velho, 2018.

DORNELAS JÚNIOR, L. F.; BISI, E. J. R.; SANTOS, M. R. A. Propagação vegetativa de jaborandi (*Piper hispidum*) por meio de estacas foliares. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**. Embrapa. Rondônia, 2020.

FAZOLIN, M. *et al.* Potencialidades da pimenta-de-macaco (*Piper aduncum* L.): características gerais e resultados de pesquisa. **Embrapa Documentos 103**. 1º ed. Acre, 2006.

FERNANDES, V. R.P. S. **Eficácia do *Neoseiulus californicus* e do *Amblyseius andersoni* no controle de *Tetranychus urticae* em *Ceanothus thyrsiflorus* var. *repens*.** Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto (Portugal). 2021.

FERREIRA, R. G. **Ação antimicrobiana do óleo essencial de *Piper aduncum* e dilapiol em infecções de pele.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

Fifer, E. K. Em *Foye's Principles of Medicinal Chemistry*, 6a. Ed.; Lemke, T. L.; Williams, D. A., eds.; Lippincott Williams & Wilkins, cap. 12. 2007.

FIGUEIREDO L.S. *et al.* Efeito da época de colheita na produção de fitomassa e rendimento de óleo essencial de alecrim-pimenta (*Lippia sidoides* Cham.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, 11:154-158, 2009.

FIGUEIREDO, P. B. **Estudo químico e atividade larvicida do óleo essencial das folhas de *Piper aduncum* L.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

FORNAZIER, M. J. *et al.* Agrotóxicos e contaminação de alimentos. **Incaper em Revista**, Vitória, v. 8, p. 17-31, 2017.

GOMES, D. S. C. *et al.* Ação Antimicrobiana de um Novo Quimiotipo do Óleo Essencial das Folhas de *Piper aduncum*. **Revista Virtual de Química**. Recife, 2024.

GUIMARÃES, E. F.; SILVA, M. C. Piperaceae In: WANDERLEY, M.G.L., *et al.* **Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo**. Instituto de Botânica, São Paulo, vol. 7, p: 263-320. 2012.

HOUËL, E. *et al.* Therapeutic switching: from antidermatophytic essential oils to new leishmanicidal products. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 110, n. 1, p. 106–113, fev. 2015.

IDRUS, S. N. W. *et al.* Discovering the therapeutic potential of *Piper* essential oils: chemistry and bioactivities. **Journal of Basic and Applied Research in Biomedicine**, v. 11, n. 1, p. 8–19, 2025.

IWAMOTO, L. H. *et al.* Anticancer and anti-inflammatory activities of a standardized dichloromethane extract from *Piper umbellatum* L. leaves. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2015, 8 p., 2015.

JOLLIFFE, I. T. Principal component analysis for special types of data. **Springer New York**, p. 338-372, 2002.

KLEIN, A. P. P.; SOUZA, J. de. **Otimização do processo de obtenção do óleo essencial de folhas frescas e secas, de Capim-annoni-2 (*Eragrostis plana* Nees) por hidrodestilação**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2012.

KOPPERT BRASIL. **Proteção biológica das culturas**. Disponível em: <https://www.koppert.com.br/>. Acesso em: 8 jul. 2025.

LANG, Carla. **O uso da espectroscopia do infravermelho próximo na identificação de espécies amazônicas em diferentes estádios do desenvolvimento**. Dissertação de Mestrado. Manaus, 2014.

LEOCADIO, B. R. C. **Estudo fitoquímico e potencial como biodenfsensor de *Piper tuberculatum* contra mosquitos vetores da dengue**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2024.

LIMA, K. F. *et al.* Efeito acaricida do óleo essencial de *Piper aduncum* em *Tetranychus urticae*. In: Congresso brasileiro de agroecologia, 11., **Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 5, 2019. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/2888>. Acesso em: 05 de julho, 2025.

MACIEL, A. da G. S. **Controle alternativo de *Tetranychus urticae* com extratos de sementes de graviola, *Annona muricata* L. e com ácaro predador *Amblyseius aerialis* (Muma, 1955) (Acari: Phytoseiidae)**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2014.

MACIEL, A. G. S. **Preparo do microencapsulado de *Annona squamosa* L. (Annonaceae) e toxicidade letal e subletal do microencapsulado a *Tetranychus urticae* (Koch, 1836) (Acari: Tetranychidae)**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2018.

MAIA, P. V. P. **Atividade acaricida de extrato e lectinas de *Moringa oleifera* sobre *Tetranychus urticae***. Dissertação de Mestrado, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró-RN, 2018.

MARCON, A. C.; LASTA, D. **Obtenção de óleo essencial de folhas frescas e secas de ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller) por hidrodestilação**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2016.

MERCÊS, P. F. F. das. **Isolamento, caracterização e aplicação de compostos bioativos como defensivos naturais de folhas de leguminosas (Leguminosae)**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

MESQUITA, J. M. O. *et al.* Estudo comparativo dos óleos voláteis de algumas espécies de Piperaceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 15, p. 6-12, 2005.

MILLEZI, A. F. *et al.* Caracterização química e atividade antibacteriana de óleos essenciais de plantas condimentares e medicinais contra *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v. 16, n. 1, p. 18–24, 2014.

MONTEIRO, L. B.; HICKEL, E. Pragas de importância econômica em fruteiras de caroço. In: MONTEIRO, L. B.; HICKEL, E. **Fruteiras de caroço: uma visão ecológica**. Curitiba: Editora UFPR. Cap. 11. 2004.

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

MORAIS, L. A. S. Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. **Horticultura Brasileira**. São Paulo, v. 27, n. 2, ago. 2009.

NASCIMENTO, E. V. *et al.* Ocorrências e usos da família Piperaceae, em especial no Estado do Ceará: revisão e nova identificação geográfica. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 1, p. 183–205, 2022.

NASCIMENTO, J. L. do. **Análise da composição química do óleo essencial de *Piper baccans* (Miq.) C.DC.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2023.

NAVICKIENE, H. M. D. *et al.* Composition and antifungal activity of essential oils from *Piper aduncum*, *Piper arboreum* and *Piper tuberculatum*. **Química Nova**, v. 29, n. 3, p. 467–470, 2006.

NJATENG, G. S. *et al.* Potencial antidiabético de extratos metanólicos de folhas de *Piper umbellatum* L. e *Persea americana* Mill. **Revista Asiática do Pacífico de Biomedicina Tropical**, v. 8, n. 3, p. 160–165, mar. 2018.

OLIVEIRA, A. K. M. *et al.* Efeito larvicida do extrato etanólico de piper umbellatum sobre o mosquito *Aedes aegypti*. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 8, n. 1, p. 84–101, 2021.

OLIVEIRA, G. L. *et al.* Chemical study and larvicidal activity against *Aedes aegypti* of essential oil of *Piper aduncum* L. (Piperaceae). **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**. 85: 1227-1234. 2013.

OLIVEIRA, M. L. B. *et al.* O gênero *Piper* no Brasil: o estado da arte da pesquisa. **Revista Biodiversidade**, Rondonópolis, v. 19, n. 3, p. 198–210, 2020.

OLIVOTO, T. *et al.* Plant secondary metabolites and its dynamical systems of induction in response to environmental factors: a review. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 2, p. 71–84. 2017.

OYEMITAN, I. A. African medicinal spices of genus *Piper*. In: **Medicinal Spices And Vegetables From Africa**. Elsevier, Cap. 27, 2017.

PAGARE, S. *et al.* Secondary Metabolites of Plants and Their Role: Overview. **Current Trends in Biotechnology and Pharmacy**, v. 9, n. 3, p. 293-304, 2015.

PAULA, D. L. S. T. **Efeito da sazonalidade e do horário de coleta na produção e qualidade do óleo essencial de *Laurus nobilis* L.** Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2019.

PETERS, D. E.; BARADUM, S. A. R.; OHIRI, R. C. Constituintes fitoquímicos e do óleo essencial das folhas de *Piper Umbellatum* linn. **Revista Europeia de Agricultura e Ciências Alimentares** , v. 5, pág. 90-97, 2022.

PEZZEMENTI, L.; NACHON, F.; CHATONNET, A. Evolution of acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase in the vertebrates: an atypical butyrylcholinesterase from the Medaka *Oryzias latipes*. *PLoS One*, v. 6, n. 2, p. e 17396, 2011.

POLETTI, M.; OLMOTO, C.; MORAES, G. J. de. Potencial para o emprego de ácaros predadores em programas de manejo integrado de pragas em cultivo protegido de ornamentais. Piracicaba: Departamento de Entomologia, Fitopatologia e Zoologia Agrícola, ESALQ/USP, 2006.

PORTELA, R. C. Q.; SANTOS, F. A. M. Caracterização dos estádios ontogenéticos de três espécies de palmeiras: uma proposta de padronização para estudos de dinâmica populacional. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 34, n. 4, p. 523–535, 2011.

PROTA. Plant Resources of Tropical Africa. *Piper umbellatum*. 2025. Disponível em: <https://prota.prota4u.org/protav8.asp?h=M4&t=Piper,umbellatum&p=Piper+umbellatum#Synonyms>. Acesso em: 12 jul. 2025.

RAKHMANOV, A. *Tetranychus urticae* Koch BIOLOGY ON APPLE TREES. **Бюллетень науки и практики**, v. 10, n. 10, p. 239-243, 2024.

RAPOSO, A. *et al.* Cultivo *in vitro* de *Piper aduncum*, espécie com potencial econômico. **Evidência**, v. 19, n. 2, p. 167–184, jul./dez. 2019.

REZENDE, F. M. *et al.* Vias de síntese de metabólitos secundários em plantas. Org. Miguel Peña H. *et al.* **VI Botânica no Inverno 2016**. Cap. 10. São Paulo, 2016.

RIBEIRO, S. M.; BONILLA, O. H.; LUCENA, E. M. P. Influência da sazonalidade e do ciclo circadiano no rendimento e composição química dos óleos essenciais de *Croton* spp. da Caatinga. *Iheringia, Série Botânica*, Porto Alegre, v. 73, n. 1, p. 31–38, 2018.

RIPA, R.; LARRAL, P.; MONTENEGRO, J. **Uso de plaguicidas**. In: PÉREZ, A. M.; SANTOS, C. (Orgs.). Manejo de plagas en paltos y cítricos. Colección Libros INIA N° 23. La Cruz, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, p. 69. 2008.

RODRIGUES, G. C. S. **Identificação de novos potenciais inseticidas e antivirais utilizando ferramentas computacionais e banco de dados de produtos naturais**. Tese de Doutorado, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2021.

ROGGE-RENNER, G. D. *et al.* Ontogenia de megaestróbilos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze (Araucariaceae). **Acta Biológica Catarinense**, v. 4, n. 2, p. 30–41, 2017.

ROGGIA, Samuel. **Ácaros tetraniquídeos (Prostigmata: Tetranychidae) associados à soja no Rio Grande do Sul: ocorrência, identificação de espécies e efeito de cultivares e de plantas daninhas**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2007.

SALEHI, B. *et al.* *Piper* species: A comprehensive review on their phytochemistry, biological activities and applications. **Molecules, Basel**, v.24, n.7, p.1364, 2019.

SALES, V. S. *et al.* Atividade antiparasitária e análise química do óleo essencial do fruto de *Piper tuberculatum* Jacq. **Iranian Journal of Pharmaceutical Research**, v. 17, n. 1, p. 268–275, 2018.

SAMPAIO, R. M. *et al.* Adoção do manejo integrado de pragas (MIP): um estudo censitário das safras paulistas 2007/2008 e 2016/2017. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 18, n. 50, p. 279-297, 2022.

SANTIAGO, G. G. *et al.* Estudo do óleo essencial de *Ocotea corymbosa* (Meisn.) Mez (Lauraceae). **Environmental Science & Technology Innovation**, v. 2, n. 2, 2023.

SANTIAGO, I. N. *et al.* Germinação de sementes e morfologia de plântulas de espécies pioneiras da várzea amazônica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 271-289, 2021.

SANTOS, K. L. M. dos. **Caracterização fitoquímica e atividades biológicas do óleo essencial de *Piper aduncum* L.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.

SCALOPPI JUNIOR, E. J. **Propagação de espécies de Annonaceae com estacas caulinares.** 2007. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

SCOTÁ, M. B. **Efeito do tipo de explante e reguladores de crescimento vegetal na indução de calos em três cultivares de *Psidium guajava* visando a produção de metabólitos secundários.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2023.

SILVA, A. J. *et al.* Avaliação da atividade antimicrobiana de óleos essenciais obtidos de diferentes fabricantes. **Sinapse Múltipla**, 2019.

SILVA, C. M. A. **Metabólitos secundários de plantas do semiárido de Pernambuco: influência de fatores ambientais na produção e atividade biológica.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022a.

SILVA, J. A. *et al.* Atividade antioxidante de *Piper arboreum*, *Piper dilatatum* e *Piper divaricatum*. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v. 16, n. 3, supl. I, p. 700-706, 2014.

SILVA, J. K. R. *et al.* Essential oils of Amazon *Piper* species and their cytotoxic, antifungal, antioxidant and anti-cholinesterase activities. **Industrial Crops and Products**, v. 58, p. 55-60, 2014.

SILVA, L. dos S. da. **Potencial biológico de três plantas ruderais de Alagoas.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Maceió, AL, 2022b.

SILVA, M. D. G. **Desempenho de cepas de materiais genéticos de eucalipto em jardim clonal.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

SILVA, M. E. T. *et al.* Produção de biossurfactante de fungos endofíticos *Piper hispidum*. **Journal of Applied Microbiology**, v. 130, n. 2, p. 561–569, 01 fev. 2021.

SILVA, N. O. **Perfil comparativo de substâncias voláteis da espécie *Piper tuberculatum* Jacq.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2024.

SILVEIRA, J. C. *et al.* Levantamento e análise de métodos de extração de óleos essenciais. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 15, 2012.

SOUSA, V. **Desenvolvimento do ácaro rajado (*Tetranychus urticae* Koch) em morangueiro sob diferentes doses e fontes de fertilizantes orgânicos.** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2018.

SOUTO, N.; HARADA, A. Y.; MAIA, J. G. de S. Estudos preliminares da atividade inseticida de óleos essenciais de espécies de *Piper* Linneus (Piperaceae) em operárias de *Solenopsis saevissima* F. Smith (Hymenoptera: Formicidae), em laboratório. **Biota Amazônia**. 2011.

STRÜCKER, W. **Radiação UV-C no controle de *Tetranychus urticae* (ácaro rajado) na cultura do morangueiro.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2022.

TINOCO, T. J.; SILVA, P. L.; ROCHA, A. P. S. Manejo integrado de pragas e doenças em sistemas agrícolas. **Revista Contemporânea**, v. 3, n. 11, p. 22675-22697, 2023.

VARGAS, R.; OLIVARES, N.; UBILLO, A. **Manejo Integrado de Resistencia (MIR) y selectividad de plaguicidas.** In: PÉREZ, A. M. S., C. Manejo de plagas en paltos y citricos. Colección Libros INIA N° 23. La Cruz, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2008. p. 80-81.

VASCONCELOS, L. C. *et al.* Nanoemulsões de óleo essencial de *Piper dilatatum* para controle sustentável de ervas daninhas. In: **Encontro Latino-Americano de Iniciação Científica**. Universidade do Vale do Paraíba. Anais. São José dos Campos, 2023.

VIDAL, C. Y. **Transplante de plântulas e plantas jovens como estratégia de produção de mudas para a restauração de áreas degradadas.** Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

WESTFALL, T. C.; WESTFALL, D. P. Em Goodman & Gilman. **As bases farmacológicas da terapêutica**, 10a. Ed.; Brunton, L. L.; Lazo, J. S.; Parker, K. L., eds.; Mc Graw Hill, cap.6. 2006.

WOREK, F.; KOLLER, M.; THIERMANN, H.; Szinicz, L. Diagnostic aspects of organophosphate poisoning. **Toxicology**, 214, 182. 2005.

ZANETTI, N. do N. S. **Metabolismo secundário de plantas: uma abordagem investigativa de ensino baseada em evidências e contextualização**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2024.