



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ – UPFI
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

FELIPE SOUSA QUEIROZ BARBOSA

OCORRÊNCIA, CRESCIMENTO POPULACIONAL E MANEJO DE *Tetranychus gloveri* Banks (ACARI: TETRANYCHIDAE) COM ÓLEOS ESSENCIAIS

TERESINA – PI

2026

FELIPE SOUSA QUEIROZ BARBOSA

OCORRÊNCIA, CRESCIMENTO POPULACIONAL E MANEJO DE *Tetranychus gloveri* Banks (ACARI: TETRANYCHIDAE) COM ÓLEOS ESSENCIAIS

Tese apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Rafael e Silva Barbosa.

Coorientador: Prof. Dr. José Cláudio Barros Ferraz.

TERESINA – PI

2026

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

B726o Barbosa, Felipe Sousa Queiroz.
 Ocorrência, dinâmica populacional e manejo de *Tetranychus gloveri* Banks (Acari: tetranychidae) com óleos essenciais. / Felipe Sousa Queiroz Barbosa. -- 2026.
 78 f.

 Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2026.
 “Orientador: Prof. Dr. Douglas Rafael e Silva Barbosa.”

 1. Ácaros fitófagos. 2. Óleos essenciais. 3. Manejo sustentável. 4. *Adenium spp.* I. Barbosa, Douglas Rafael e Silva. II. Título.

CDD 632.75

Bibliotecário: Rafael Gomes de Sousa - CRB3/1163

FELIPE SOUSA QUEIROZ BARBOSA

**OCORRÊNCIA, CRESCIMENTO POPULACIONAL E MANEJO DE
Tetranychus gloveri (ACARI: TETRANYCHIDAE) COM ÓLEOS
ESSENCIAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

APROVADA em 23 de janeiro de 2026

Comissão Julgadora:



Documento assinado digitalmente
MARUZANETE PEREIRA DE MELO
Data: 13/04/2026 19:50:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Maruzanete Pereira de Melo – UFPI



Documento assinado digitalmente
SOLANGE MARIA DE FRANCA
Data: 28/01/2026 07:29:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Solange Maria de França – UEMA



Documento assinado digitalmente
MERCIA ELIAS DUARTE
Data: 16/04/2026 19:25:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Mércia Elias Duarte – UFPI/Membro Externo



Documento assinado digitalmente
PAULO ROBERTO RAMALHO SILVA
Data: 13/04/2026 16:41:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Paulo Roberto Ramalho e Silva – UFPI



Documento assinado digitalmente
DOUGLAS RAFAEL E SILVA BARBOSA
Data: 28/01/2026 08:37:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Douglas Rafael e Silva Barbosa – IFMA
(Orientador)

**TERESINA-PI
2026**

à minha família,
fonte de todo o apoio

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder força, sabedoria e serenidade para enfrentar cada desafio desta jornada. Sua presença foi essencial para que eu pudesse persistir e alcançar este objetivo. À minha esposa, Anárya, pela paciência, carinho e apoio incondicional. Obrigado por acreditar em mim, mesmo nos momentos de maior incerteza, e por caminhar ao meu lado em todas as etapas deste processo. Seu cuidado diário foi fundamental! Ao seu companheirinho, nosso Bento, que cresce em seu ventre, agradeço por ser fonte de inspiração, renovação de propósito e motivação para concluir esta etapa com dignidade. Eu amo vocês!

Aos meus pais, Clélia Jane e Benedito, por todo amor, apoio e ensinamentos. Vocês sempre foram minha base, meus exemplos e minha motivação para continuar evoluindo com honestidade, dignidade e perseverança.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Douglas e Silva Barbosa, expresso minha sincera gratidão pela confiança depositada ao longo desta pesquisa e, especialmente, pela disposição constante em ajudar, ouvir e orientar com generosidade, mesmo diante das diversas demandas acadêmicas. Sua postura ética e compromisso com a formação de seus orientandos foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus coorientadores, Prof. José Cláudio, pelo incentivo determinante e pelo pontapé inicial que orientou os rumos da pesquisa, e Rosenya, pelo suporte técnico e acompanhamento contínuo.

À Universidade Federal do Piauí (UFPI), instituição que tenho orgulho de integrar desde 2009, inicialmente como aluno e, posteriormente, como servidor público. A UFPI foi e continua sendo parte essencial da minha trajetória pessoal, acadêmica e profissional.

À turma de doutorado 2022–2026, pelas trocas acadêmicas e pelos momentos de aprendizado conjunto. Aos meus familiares, pelo cuidado, incentivo e compreensão das minhas ausências. Em especial a minha avó "Teté" (*in memorian*), que com certeza estaria orgulhosa por mim.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Entomologia, pelo apoio técnico e pelo companheirismo cotidiano.

"O que a vida quer da gente é coragem".
(João Guimarães Rosa)

RESUMO

Tetranychus gloveri (Acari: Tetranychidae) emergiu como uma praga de relevância crescente em sistemas agrícolas e ornamentais, especialmente em regiões tropicais. O objetivo deste trabalho foi relatar a ocorrência de *T. gloveri* em *Adenium* spp., caracterizar injúrias foliares e adequação de espécies do gênero como hospedeiras via crescimento populacional, bem como avaliar um método sustentável para seu manejo, através da investigação do potencial acaricida de óleos essenciais. Inicialmente, foi registrada a ocorrência de *T. gloveri* em espécies do gênero *Adenium* e avaliada sua multiplicação em *Adenium obesum*, *A. arabicum* e *A. somalense*, através da quantificação de injúrias foliares e estimativa da taxa instantânea de crescimento populacional (ri). Em seguida, foram utilizados os óleos essenciais de *Zingiber officinale*, *Rosmarinus officinalis* e *Foeniculum vulgare*, sendo avaliados quanto à toxicidade através de contato residual, repelência, efeito ovicida e impactos sobre ri. Este estudo revela a primeira ocorrência de *T. gloveri* em *Adenium* spp no Brasil., com injúrias variando de 61% a 80% da área foliar e nota máxima de dano 5, além de valores positivos de ri em todas as espécies, indicando potencial reprodutivo e aptidão dessas plantas como hospedeiras. A análise química revelou zingibereno como majoritário em *Z. officinale*, 1,8-cineol e α -pineno em *R. officinalis* e trans-anetol em *F. vulgare*. Nos bioensaios, *Z. officinale* apresentou a maior toxicidade ($CL_{50} = 12,97 \mu\text{L/mL}$), seguido por *R. officinalis* ($14,94 \mu\text{L/mL}$) e *F. vulgare* ($24,91 \mu\text{L/mL}$). De forma integrada, *Z. officinale* destacou-se apresentando elevada toxicidade e redução da ri, *R. officinalis* apresentou ação intermediária, enquanto *F. vulgare* exerceu papel relevante na repelência e na redução da oviposição e ri. Conclui-se que *Adenium* spp. são hospedeiras favoráveis a *T. gloveri* e que os óleos essenciais apresentam potencial para o manejo desse ácaro.

Palavras-chave: ocorrência; ácaros fitófagos; óleos essenciais; manejo sustentável; *Adenium* spp.

ABSTRACT

Tetranychus gloveri (Acari: Tetranychidae) has emerged as a mite of increasing relevance in agricultural and ornamental systems, particularly in tropical regions. The objective of this study was to record the occurrence of *T. gloveri* on ornamental plants, characterize leaf injuries, and assess the suitability of *Adenium* spp. as hosts based on population growth, as well as to evaluate a sustainable management approach through the investigation of the acaricidal potential of essential oils. Initially, the occurrence of the mite was recorded in species of the genus *Adenium*, and its population increase was evaluated on *Adenium obesum*, *A. arabicum*, and *A. somalense* by quantifying leaf injuries and estimating the instantaneous rate of population growth (ri). Subsequently, essential oils from *Zingiber officinale*, *Rosmarinus officinalis*, and *Foeniculum vulgare* were used, with their chemical composition determined by gas chromatography–mass spectrometry, and evaluated for residual contact toxicity, repellency, ovicidal effect, and impacts on ri. The results demonstrated, for the first time in Brazil, the occurrence of *T. gloveri* on *Adenium* spp., with leaf injuries ranging from 61% to 80% of the leaf area and a maximum damage score of 5, as well as positive ri values for all species, indicating reproductive potential and host suitability. Chemical analysis revealed zingiberene as the major compound in *Z. officinale*, 1,8-cineole and α -pinene in *R. officinalis*, and trans-anethole in *F. vulgare*. In bioassays, *Z. officinale* showed the highest toxicity ($LC_{50} = 12.97 \mu\text{L/mL}$), followed by *R. officinalis* ($14.94 \mu\text{L/mL}$) and *F. vulgare* ($24.91 \mu\text{L/mL}$). Overall, *Z. officinale* stood out for its high toxicity and reduction in ri, *R. officinalis* exhibited intermediate activity, whereas *F. vulgare* played a relevant role in repellency and in reducing oviposition and ri. It is concluded that *Adenium* spp. are suitable hosts for *T. gloveri* and that essential oils show potential for the management of this mite.

Keywords: occurrence; phytophagous mites; essential oils; sustainable management; *Adenium* spp.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fêmea adulta de *Tetranychus gloveri* ovipositando em folha de *Adenium obesum*. 18

Artigo 1 - Artigo 1 - Primeiro registro de *Tetranychus gloveri* Banks (Acari: Tetranychidae) em *Adenium* spp. no Brasil: injúrias foliares e adequação hospedeira baseada no crescimento populacional

Figura 1. A. Edeago do macho de *T. gloveri*. B. Perna I da fêmea de *T. gloveri*..... 34

Figura 2. Abundância dos estágios de desenvolvimento de *T. gloveri* em diferentes espécies de *Adenium*..... 35

Figura 3. Folhas de *A. arabicum*, *A. obesum* e *A. somalense* com injúrias causadas por *T. gloveri*, respectivamente (A, B e C)..... 36

Figura 4. Distribuição das notas de injúria causadas por *T. gloveri* em espécies de *Adenium* spp..... 38

Figura 5. Taxa de crescimento populacional instantâneo (r_i) de *T. gloveri* em três espécies de *Adenium* spp. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade 39

Figura 6. Padrões multivariados do crescimento populacional de *T. gloveri* em espécies de *Adenium*, obtidos por análise de componentes principais (A) e análise de agrupamento hierárquico (B)..... 41

Artigo 2 - Caracterização química e avaliação de efeitos letais e subletais dos óleos essenciais de *Zingiber officinale*, *Rosmarinus officinalis* e *Foeniculum vulgare* sobre *Tetranychus gloveri* (Acari: Tetranychidae)

Figura 1. Superfície de resposta concentração–mortalidade de *T. gloveri* expostos aos óleos essenciais de *F. vulgare*, *R. officinalis* e *Z. officinale*. *Símbolos dos óleos essenciais posicionados aproximadamente na região da CL₉₀ 58

Figura 2. Viabilidade de ovos (%) de *T. gloveri* tratados com a CL₅₀ (A) e CL₉₀ dos óleos essenciais de *F. vulgare*, *R. officinalis* e *Z. officinale*. Barras seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$)..... 61

Figura 3. Taxa instantânea de crescimento populacional de <i>T. gloveri</i> tratados com a CL ₂₀ (A) e CL ₃₀ dos óleos essenciais de <i>F. vulgare</i> , <i>R. officinalis</i> e <i>Z. officinale</i> . Barras seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P>0,05).....	62
Figura 4. Índice de repelência (IR) de <i>T. gloveri</i> em relação aos óleos essenciais de <i>F. vulgare</i> , <i>R. officinalis</i> e <i>Z. officinale</i> concentrações letais CL ₂₀ (A) e CL ₃₀ (B)	64
Figura 5. Número de ácaros <i>T. gloveri</i> atraídos (média ± EP) após a aplicação dos óleos essenciais de <i>F. vulgare</i> , <i>R. officinalis</i> e <i>Z. officinale</i> nas concentrações letais CL ₂₀ (A) e CL ₃₀ (B). *Significativo pelo teste de Qui-quadrado (P<0,05).....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química do óleo essencial de <i>F. vulgare</i>	54
Tabela 2. Composição química do óleo essencial de <i>R. officinalis</i>	55
Tabela 3. Composição química do óleo essencial de <i>Z. officinale</i>	56
Tabela 4. Toxicidade dos óleos essenciais de <i>F. vulgare</i> , <i>R. officinalis</i> e <i>Zingiber officinale</i> sobre fêmeas adultas de <i>T. gloveri</i>	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada

CL - Concentração Letal

DIC - Delineamento inteiramente casualizado

DP - Desvio-padrão

EP - Erro Padrão

GST - Glutathione S-Transferase

IR - Índice de Repelência

IRL - Índice de retenção linear

MIP - Manejo Integrado de Pragas

OE - Óleo Essencial

PC1 - Primeiro componente principal

PC2 - Variância e o segundo componente

PCA - Análise de componentes principais

RI - Taxa instantânea de crescimento

TD - Tempo de Duplicação

TR - Razões de Toxicidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Características gerais dos ácaros de importância agrícola	16
2.2 Família Tetranychidae	16
2.3 <i>Tetranychus gloveri</i> Banks.....	17
2.4 Impacto econômico causado por infestações em culturas agrícolas.....	18
2.5 Métodos tradicionais de controle e suas limitações	20
2.6 Óleos Essenciais e sua bioatividade contra ácaros.....	21
2.7 Mecanismos de ação dos óleos essenciais sobre ácaros.....	23
2.8 Potencial acaricida de óleos essenciais com efeitos letais e subletais	24
2.9 Caracterização das plantas dos óleos essenciais testados.....	26
2.9.1 <i>Zingiber officinale</i>	26
2.9.2 <i>Rosmarinus officinalis</i>	27
2.9.3 <i>Foeniculum vulgare</i>	27
3 RESULTADOS	28
3.1 Artigo 1 - Primeiro registro de <i>Tetranychus gloveri</i> Banks (Acari: Tetranychidae) em <i>Adenium</i> spp. no Brasil: injúrias foliares e adequação hospedeira baseada no crescimento populacional	28
3.1.1 Introdução	30
3.1.2 Material e métodos	31
3.1.3 Resultados e Discussão.....	33
3.1.4 Conclusões.....	42
Referências	42
3.2 Artigo 2 - Caracterização química e avaliação de efeitos letais e subletais dos óleos essenciais de <i>Zingiber officinale</i>, <i>Rosmarinus officinalis</i> e <i>Foeniculum vulgare</i> sobre <i>Tetranychus gloveri</i> (Acari: Tetranychidae)	46
3.2.1 Introdução	47
3.2.2 Materiais e métodos.....	49
3.2.2.1 Local de estudo.....	49
3.2.2.2 Óleos essenciais, análise cromatográfica, espectrometria de massas e identificação química dos óleos essenciais	49
3.2.2.3 Criação de <i>T. gloveri</i>	50
3.2.2.4 Efeito letal dos óleos essenciais sobre fêmeas adultas dos ácaros	50

3.2.2.5 Efeito letal de óleos essenciais sobre ovos de <i>T. gloveri</i>	51
3.2.2.6 Efeito subletal no crescimento populacional	51
3.2.2.7 Efeito subletal de repelência	52
3.2.2.8 Análises estatísticas.....	53
3.2.3 Resultados e Discussão.....	54
3.2.3.1 Caracterização química dos óleos essenciais	54
3.2.3.2 Efeito letal dos óleos essenciais sobre fêmeas adultas dos ácaros	57
3.2.3.3 Efeito letal de óleos essenciais sobre ovos de <i>T. gloveri</i>	60
3.2.3.4 Efeito subletal no crescimento populacional	63
3.2.3.5 Efeito subletal de repelência	65
3.2.4 Conclusões.....	68
Referências	68
REFERÊNCIAS.....	74

1 INTRODUÇÃO

Os ácaros fitófagos da família Tetranychidae se enquadra entre os artrópodes de maior relevância econômica na agricultura global, causando danos expressivos em mais de quatro mil espécies vegetais cultivadas (Migeon; Dorkeld, 2025). O gênero *Tetranychus* Dufour é particularmente importante pela ampla gama de hospedeiros, elevada fecundidade e rápida adaptação a diferentes condições ambientais (Devasia; Ramani, 2023). Em regiões tropicais e semiáridas, como o Nordeste brasileiro, o aumento de temperatura e a redução da umidade relativa favorecem explosões populacionais desses ácaros, comprometendo a produtividade de diversas culturas agrícolas e ornamentais (Gomes Neto *et al.*, 2019).

Entre as espécies do gênero, *Tetranychus gloveri* Banks tem sua ocorrência registrada em 216 espécies botânicas, e destaca-se como uma praga emergente em cultivos de importância regional, incluindo feijão-caupi, algodão, mamoeiro e plantas ornamentais (Moraes; Flechtmann, 2024; Migeon; Dorkeld., 2025). A sucção do conteúdo celular das folhas provoca manchas cloróticas, necroses e queda prematura da folhagem, reduzindo a fotossíntese e o vigor das plantas. Apesar de sua crescente ocorrência, as informações sobre a biologia, a dinâmica populacional e os métodos de manejo de *T. gloveri* são escassas, especialmente quando comparadas a outras espécies como *Tetranychus urticae* Koch e *Tetranychus neocaledonicus* André.

Historicamente, o manejo de ácaros-praga tem se baseado no uso de acaricidas sintéticos. Embora eficazes a curto prazo, esses produtos apresentam limitações graves, como a seleção de populações resistentes, a contaminação ambiental e a eliminação de inimigos naturais (Singh; Singh, 2021). Estudo recente demonstrou que *T. gloveri* apresenta mecanismos enzimáticos de detoxificação e tolerância cruzada semelhantes aos de *T. urticae* (Mattupurath *et al.*, 2023).

Entre as alternativas de controle, os óleos essenciais (OEs) têm se mostrado ferramentas promissoras. Este grupo de substâncias são misturas complexas de monoterpenos e sesquiterpenos voláteis, extraídas de plantas aromáticas, com comprovadas atividades inseticidas, acaricidas, repelentes e ovicidas (Isman, 2020). A volatilidade, a rápida biodegradação e a baixa toxicidade a mamíferos e polinizadores tornam esses compostos ambientalmente seguros e compatíveis com sistemas agroecológicos (Tak; Isman, 2017).

Estudos recentes com *T. urticae* confirmam o potencial desses compostos. An e Tak (2022) testaram 30 óleos essenciais e observaram elevada correlação entre toxicidade e repelência, com destaque para os óleos de gerânio, gengibre, citronela e canela, que exibiram

mortalidade comparável ao pesticida bifentrina e forte repelência, superior a 80 %. Além disso, a adição de vanilina potencializou a ação repelente média de 62 % para 86 %, evidenciando a importância de sinergismos naturais no desempenho dos OEs.

De forma complementar, Sheasha *et al.* (2023) avaliaram os óleos de caraway (*Carum carvi* L.), limão (*Citrus limon* (L.) Osbeck), hortelã (*Mentha spicata* L.) e menta-piperita (*Mentha × piperita* L.) sobre *T. urticae*, registrando CL₅₀ variando de 30.086 a 283.945 ppm em adultos e mortalidade significativa de ovos. Embora menos potentes que o acaricida abamectina, esses óleos reduziram em até 46% a oviposição e 50% a eclodibilidade, demonstrando efeitos subletais consistentes e reforçando o potencial de inclusão dos OEs em programas de MIP. Silva *et al.* (2025) relataram forte atividade acaricida dos óleos de may chang (*Litsea cubeba* (Lour.) Pers.), mastruz (*Chenopodium ambrosioides* L.) e melaleuca (*Melaleuca alternifolia* (Maiden & Betcher) Cheele) sobre *T. neocaledonicus*, destacando compostos terpênicos como 1,8-cineol e γ -terpineno como marcadores de bioatividade.

Esses resultados convergem para a compreensão de que a eficácia dos OEs está associada à composição química, particularmente à presença de monoterpenos oxigenados, como cineol, linalol, timol e α -pineno e que variações genéticas e ambientais das plantas-fonte podem modificar a toxicidade. Adicionalmente, um estudo recente destacou o papel das interações sinérgicas entre constituintes e compostos fixadores, como a vanilina, no prolongamento da repelência e na estabilidade dos óleos (An; Tak, 2022).

Apesar do volume crescente de pesquisas sobre *T. urticae* e *T. neocaledonicus*, não existem registros sobre os efeitos letais e subletais de óleos essenciais em *T. gloveri*. Considerando que essa espécie demonstra mecanismos sugestivos de resistência a acaricidas sintéticos, investigar seu comportamento frente a compostos botânicos representa uma oportunidade de inovação científica e tecnológica, com potencial aplicação em sistemas agrícolas tropicais.

Dessa forma, esta tese foi estruturada em dois artigos científicos complementares: o Artigo 1 aborda a ocorrência e a dinâmica populacional de *T. gloveri* em 3 espécies do gênero *Adenium* spp., relacionando seu potencial de crescimento e interações ácaro-planta com estes hospedeiros vegetais. O Artigo 2 apresenta a caracterização química e os efeitos letais e subletais dos óleos essenciais de *Zingiber officinale* Roscoe, *Rosmarinus officinalis* L. e *Foeniculum vulgare* Mill. sobre *T. gloveri*, investigando sua toxicidade, repelência e impactos na fecundidade e viabilidade de ovos. A consolidação desses resultados visa preencher lacunas no conhecimento bioecológico dessa espécie e contribuir para o desenvolvimento de estratégias

de manejo sustentável, reforçando a importância de compostos naturais na proteção de culturas agrícolas e ornamentais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Características gerais dos ácaros de importância agrícola

Os ácaros fitófagos são pequenos artrópodes que representam pragas de grande relevância agrícola devido à sua capacidade de causar danos em diversas culturas em diversas culturas de interesse agrícola em diferentes regiões geográficas do mundo. A sua habilidade de explorar tanto estruturas aéreas quanto subterrâneas das plantas hospedeiras reflete em notável plasticidade ecológica e fisiológica, tornando altamente adaptáveis a diferentes condições ambientais (van Leeuwen *et al.*, 2010; Nexticapan-Garcéz *et al.*, 2021).

Além disso, em relação a seu comportamento alimentar, podem ser polípagos ou altamente específicos, dependendo do gênero ou espécie. A polifagia de ácaros fitófagos, como observado na família Tetranychidae, refere-se à sua capacidade de se alimentar de uma ampla variedade de plantas hospedeiras. Essa característica representa um desafio significativo para a agricultura, permitindo que esses ácaros se adaptem facilmente a diferentes cultivos, dificultando o controle populacional e favorecendo sua dispersão em diversas regiões agrícolas, consequentemente esta característica biológica reflete em severos danos (Sato *et al.*, 2016).

2.2 Família Tetranychidae

A família Tetranychidae (Acari: Prostigmata) compreende os conhecidos "ácaros-rajados", grupo de grande importância econômica na agricultura global, esta família são representados por aproximadamente 1.200 espécies descritas, essa família é caracterizada por indivíduos pequenos (geralmente $< 0,6$ mm), que se alimentam de tecidos vegetais ao perfurarem células epidérmicas com seus estiletos quelíceros (Moraes; Flechtmann, 2008).

Espécies desta família apresentam ampla distribuição geográfica e são adaptáveis a diferentes condições climáticas, com preferência por ambientes quentes e secos. O ciclo de vida curto, a elevada taxa de reprodução e a capacidade de formar colônias densas sob teias protetoras são características que favorecem infestações explosivas, muitas vezes de difícil controle (Helle; Sabelis, 1985).

Diversas espécies de importância agrícola pertencem a essa família, como *T. urticae*, *T. evansi* Baker & Pritchard, 1960, *T. neocaledonicus* André, 1933, *Oligonychus punicae* (Hirst, 1926), *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) e *Tetranychus gloveri*. A maioria dessas espécies possui grande número de hospedeiros, provocando injúrias severas em culturas de interesse econômico, como hortaliças, frutíferas, ornamentais e leguminosas (Jeppson; Keifer; Baker, 1975).

Esses danos incluem clorose, bronzeamento e queda prematura de folhas, interferência na fotossíntese e, em casos severos, morte de partes da planta. A teia produzida por muitas espécies também dificulta o controle químico, protege contra predadores e prejudica a aparência comercial das culturas (Moraes; Flechtmann, 2024).

2.3 *Tetranychus gloveri* Banks

Tetranychus gloveri Banks é uma espécie de tetraniquídeo fitófago relatada inicialmente na Flórida (EUA), e posteriormente em diferentes regiões tropicais e subtropicais das Américas. Embora historicamente pouco estudada, tem sido crescentemente identificada como praga emergente em culturas como o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.), algodão (*Gossypium hirsutum* L.) e diversas cucurbitáceas, principalmente no Nordeste brasileiro (Moraes, 2020).

Essa espécie possui corpo ovalado, coloração avermelhada a alaranjada e hábitos gregários. Assim como outros membros do gênero *Tetranychus*, produzem, teias de seda sob as folhas, onde se abriga e se reproduz. O ciclo de vida pode ocorrer em menos de 10 dias sob condições favoráveis de temperatura (entre 28 °C e 32 °C), favorecendo o crescimento exponencial das populações durante períodos quentes e secos (Moraes; Flechtmann, 2024) (Figura 1).



Figura 1. Fêmea adulta de *Tetranychus gloveri* ovipositando em folha de *Adenium obesum*
Fonte: Autor.

A espécie possui marcadores morfológicos semelhantes com *T. urticae* e *T. neocaledonicus*, exigindo análises microscópicas criteriosas para sua correta identificação, sobretudo dos estigmas e do padrão de quetotaxia. Essa dificuldade pode levar a subnotificações e a imprecisões em programas de manejo (referência).

Embora ainda existam escassez de estudos específicos sobre a biologia detalhada, comportamento e sensibilidade química de *T. gloveri*, sua ocorrência crescente em áreas tropicais do Brasil exige atenção, especialmente diante do aumento de cultivos de feijão-caupi e hortaliças em sistemas de produção intensiva.

2.4 Impacto econômico causado por infestações em culturas agrícolas

Os ácaros fitófagos da família Tetranychidae estão entre os artrópodes que mais geram prejuízos econômicos em cultivos agrícolas e ornamentais, principalmente em ambientes de clima quente e seco, estressados hídrica ou termicamente (Gomes Neto *et al.*, 2019; Migeon; Dorkeld, 2025). Em termos agrônômicos, esses ácaros provocam redução fotossintética rápida e cumulativa: a alimentação em massa leva ao aparecimento de pontuações cloróticas, manchas amareladas e necrose foliar, seguida de seca e queda precoce de folhas, o que compromete tanto produtividade quanto qualidade comercial do produto colhido (Moraes; Flechtmann, 2024). Esse padrão de injúria é recorrente no gênero *Tetranychus*, e está bem descrito para *T. urticae* e *T. neocaledonicus* (Silva *et al.*, 2025).

No caso de *T. urticae*, relatado mundialmente como praga-chave de hortaliças, frutíferas e ornamentais, existem registros de perdas próximas a 50–100% em cultivos sob estresse climático e ausência de manejo adequado, sobretudo em condições protegidas (casa de vegetação) e irrigação intensiva. Esses impactos são atribuídos ao curto ciclo de vida, ao alto potencial reprodutivo e à capacidade de formar rapidamente populações muito densas (Sheasha *et al.*, 2023).

O *T. neocaledonicus* também é listado entre as dez espécies de tetraniquídeos mais importantes economicamente no mundo, principalmente em leguminosas como feijão-fava e feijão-fava-do-maranhão (*Phaseolus lunatus* L.), nas quais causa clorose difusa, prateamento e definhamento foliar, culminando em desfolha e queda de rendimento (Gomes Neto *et al.*, 2019).

Essa espécie é citada como praga emergente em regiões de clima quente e baixa umidade relativa, por apresentar ciclo rápido, alta viabilidade das fases imaturas e elevadas taxas de oviposição, o que permite surtos populacionais sincronizados com períodos de maior estresse hídrico da planta hospedeira (Gomes Neto *et al.*, 2017).

Para *T. gloveri*, alvo central desta tese, existe um cenário semelhante de relevância econômica crescente em hospedeiros de importância regional no Nordeste brasileiro, como feijão-caupi, mamoeiro, algodão e plantas ornamentais. Embora a literatura ainda trate *T. gloveri* com menos profundidade que *T. urticae*, o padrão de injúria é equivalente: mosaico clorótico, tecido foliar necrosado e queda antecipada de folhas, o que reduz o vigor vegetativo e compromete tanto o potencial produtivo (em culturas alimentares) quanto o valor estético/comercial (em ornamentais). Esse arsenal de injúrias confere a *T. gloveri* um potencial de impacto econômico que tende a se amplificar à medida que a espécie se estabelece e se adapta a novos hospedeiros cultivados em sistemas tropicais irrigados (Moraes; Flechtman, 2024).

Além da perda direta de produtividade, há impactos indiretos: (i) custo adicional com acaricidas, muitas vezes aplicados em sequência curta; (ii) descarte de unidades foliares/plantas inteiras comercialmente desvalorizadas; (iii) necessidade de retrabalho com mão de obra para manejo emergencial das infestações; (iv) risco de rejeição de lotes comerciais quando há aspecto visual depreciado (no caso de ornamentais). Isso é particularmente crítico para viveiros e paisagismo urbano, onde, diferentemente de culturas alimentares, a tolerância de mercado a injúrias foliares é baixíssima (van Leeuwen *et al.*, 2015).

Em resumo, o gênero *Tetranychus* reúne espécies que apresentam alta plasticidade ecológica e agressividade alimentar, produzindo perdas quantitativas (rendimento, biomassa) e qualitativas (aparência, padrão de folhas) em um intervalo curto de tempo. O enquadramento

de *T. gloveri* nesse grupo de “ácaros de alto risco econômico” justifica abordagens específicas de monitoramento, amostragem e manejo para essa espécie, e não apenas extrapolações automáticas do que já é conhecido para *T. urticae*.

2.5 Métodos tradicionais de controle e suas limitações

O controle químico com acaricidas sintéticos é historicamente o método mais utilizado contra ácaros tetraniquídeos, pela rapidez de ação e pela facilidade de aplicação em pulverização foliar (Singh; Singh, 2021). Para várias espécies de *Tetranychus*, incluindo *T. urticae* e *T. neocaledonicus*, moléculas como abamectina, fenazaquin, bifentrina e outros reguladores fisiológicos são amplamente empregadas. Esses compostos podem reduzir drasticamente a densidade populacional logo após a aplicação, e por isso são considerados ferramentas essenciais em muitos sistemas de produção (van Leeuwen *et al.*, 2010).

Porém, esse modelo tem problemas sérios:

(i) Resistência. A exposição repetida a ingredientes ativos com o mesmo modo de ação leva à seleção acelerada de linhagens resistentes. Isso já é extensivamente relatado para *T. urticae*, espécie famosa por desenvolver resistência múltipla a diferentes classes de acaricidas. Sheasha *et al.* (2023) destacam que o curto ciclo e a alta fecundidade de *T. urticae* permitem que a resistência “escale” em poucas gerações, tornando o controle químico progressivamente menos eficaz.

Em se tratando de *T. neocaledonicus*, Silva *et al.* (2025) enfatizam que, embora acaricidas sintéticos ainda sejam importantes, a dependência exclusiva dessas moléculas é insustentável porque cria risco de resistência e carece de registro de produtos específicos no Brasil. Considerando a trajetória problemática de *T. urticae*, um cenário de tolerância elevada a certos princípios ativos e potencial de evolução rápida de resistência é perfeitamente plausível para *T. gloveri* se o manejo seguir baseado apenas em químicos sintéticos.

(ii) Impacto ecológico. O uso intensivo de acaricidas de amplo espectro pode afetar populações de inimigos naturais como fitoseídeos (por exemplo, *Neoseiulus*, *Phytoseiulus*) e coccinelídeos predadores de ácaros, além de contaminar o ambiente imediato e deixar resíduos em estruturas comestíveis (van Leeuwen *et al.*, 2010). Sheasha *et al.* (2023) chamam atenção para o fato de que, embora abamectina tenha sido muito eficiente em reduzir postura e eclosão de ovos de *T. urticae*, seu uso contínuo levanta preocupações de toxicidade para organismos não alvo e risco de resíduos em alimentos.

(iii) Pressão regulatória e mercado. Há crescente pressão de mercado e de órgãos reguladores para reduzir resíduos químicos em produtos hortícolas e ornamentais destinados a mercados sensíveis (paisagismo urbano, plantas ornamentais de uso doméstico, cultivo orgânico etc.). Isso empurra o produtor a buscar alternativas não sintéticas, especialmente em sistemas com apelo de “baixo impacto ambiental”.

(iv) Ausência de registro específico. Silva *et al.* (2025) ressaltam que, para *T. neocaledonicus*, “não há produtos registrados” oficialmente no Brasil, apesar da importância econômica do ácaro. Esse vácuo normativo força o produtor a utilizar moléculas “por analogia”, isto é, extrapoladas de outros alvos, o que aumenta risco de uso inadequado e acelera resistência. É razoável supor que *T. gloveri* esteja em situação parecida: praga crescente, porém sem um portfólio específico e consolidado de moléculas registradas de forma exclusiva.

Em síntese, o controle químico sozinho é eficiente no curto prazo, mas frágil e caro no médio prazo. Ele tende a gerar resistência, ameaça inimigos naturais, e nem sempre é juridicamente ou ambientalmente viável. Nessa perspectiva, é aberta uma lacuna que pode ser preenchida por alternativas de base botânica e integração com outras táticas. Apesar da eficácia inicial dos acaricidas sintéticos, há consenso de que seu uso prolongado acarreta sérios impactos ecológicos e sanitários.

Singh, Puri e Sohal (2024) destacam que a aplicação contínua de organofosforados e carbamatos tem levado ao desenvolvimento de resistência múltipla em artrópodes agrícolas, à contaminação de solos e águas e à bioacumulação em organismos não alvo. Além disso, esses compostos podem afetar polinizadores e causar distúrbios metabólicos e genéticos em humanos expostos. Nesse contexto, a substituição progressiva por biopesticidas e compostos de origem vegetal tem sido apontada como uma estratégia prioritária de transição rumo à agricultura sustentável.

2.6 Óleos Essenciais e sua bioatividade contra ácaros

O uso de OEs no manejo de pragas agrícolas tem ganhado destaque como uma alternativa promissora aos pesticidas sintéticos, sobretudo no controle de ácaros fitófagos. Obtidos a partir da extração de compostos voláteis presentes em diferentes partes das plantas, folhas, raízes, sementes, cascas e flores, os OEs compreendem misturas complexas de substâncias naturais, majoritariamente monoterpenos, sesquiterpenos e fenóis oxigenados, responsáveis por uma ampla gama de atividades biológicas (Isman, 2000; Regnault-Roger; Vincent; Arnason, 2012; Pavela; Benelli, 2016).

Esses compostos têm despertado crescente interesse por apresentarem baixo impacto ambiental, menor toxicidade a mamíferos, rápida degradação e múltiplos modos de ação, o que dificulta o desenvolvimento de resistência por parte dos organismos-alvo (Isman; Grieneisen, 2014; Pavela, 2015). Diversos estudos têm relatado a eficácia de óleos essenciais no controle de espécies da família Tetranychidae, como *T. urticae*, *T. evansi*, *T. neocaledonicus* e *O. punicae*, com resultados expressivos de mortalidade, repelência e redução populacional (Han *et al.*, 2011; Susurluk, 2023; Zhu *et al.*, 2024).

A suscetibilidade de *T. gloveri* a diferentes acaricidas sintéticos tem sido tema de interesse crescente, especialmente diante de relatos de redução de eficácia em populações de campo. Mattupurath *et al.* (2023) verificaram variação significativa na resposta de populações indianas de *T. gloveri* a moléculas como spiromesifem e fenazaquin, além de evidenciarem alterações nos níveis de enzimas detoxificantes, incluindo esterases e glutathione S-transferases. Esses resultados sugerem que *T. gloveri* apresenta potencial para desenvolver resistência a acaricidas convencionais, reforçando a relevância de estratégias alternativas de controle, como o uso de óleos essenciais com múltiplos modos de ação e menores riscos de resistência cruzada.

Além da ação tóxica direta, os OEs frequentemente apresentam efeitos subletais que comprometem a dinâmica populacional das pragas, como a redução da fecundidade, da viabilidade dos ovos e da longevidade das fêmeas. Esses efeitos podem contribuir para a diminuição da taxa intrínseca de crescimento populacional, tornando os óleos essenciais componentes viáveis do MIP.

Estudos recentes demonstram ainda que a composição química dos óleos está diretamente relacionada à sua eficiência biológica. Compostos como 1,8-cineol, linalol, timol, carvacrol, terpinen-4-ol e α -pineno são recorrentes em espécies vegetais com potencial acaricida e atuam sinergicamente na toxicidade (Bakkali *et al.*, 2008; Gupta *et al.*, 2023).

Segundo Gupta *et al.* (2023), os óleos essenciais representam uma das classes mais promissoras de produtos botânicos devido à sua composição fitoquímica complexa, elevada volatilidade, rápida degradação ambiental e capacidade de atuar em múltiplos alvos fisiológicos. Esses autores destacam que a variedade de monoterpenos e sesquiterpenos presentes nos óleos contribui para ações inseticidas e acaricidas, incluindo neurotoxicidade, alterações enzimáticas e efeitos antialimentares, o que reduz a chance de seleção de resistência. Além disso, avanços tecnológicos em formulações, como nanoencapsulação e emulsões estáveis, têm ampliado a viabilidade de uso desses compostos no manejo integrado de pragas. Dessa forma, a diversidade fitoquímica dos óleos essenciais representa uma rica fonte de

moléculas bioativas passíveis de exploração em programas de controle sustentável de ácaros e outras pragas agrícolas (Picanço *et al.*, 2024).

2.7 Mecanismos de ação dos óleos essenciais sobre ácaros

A bioatividade dos óleos essenciais está associada à sua complexa composição química e à capacidade de atuar em múltiplos alvos fisiológicos e bioquímicos nos artrópodes (Bakkali *et al.*, 2008; Pavela, 2008; Tak; Isman, 2017). O principal modo de ação envolve efeitos neurotóxicos, resultantes da interferência na transmissão sináptica. Compostos como timol, eugenol, 1,8-cineol, linalol e mentol modulam os canais de sódio dependentes de voltagem e os receptores GABAérgicos e colinérgicos, levando à hiperexcitação neuronal, paralisia e morte (López; Pascual-Villalobos, 2010).

A ação acaricida dos óleos essenciais decorre, em parte, da interferência sobre a neurotransmissão e da modulação de enzimas de detoxificação. Gupta *et al.* (2023) demonstram que monoterpenos podem alterar a atividade de esterases e Glutathione S-Transferase - GSTs, enquanto estudos com *T. gloveri* revelam que alterações nessas enzimas estão associadas a resistência a acaricidas sintéticos (Mattupurath *et al.*, 2023), reforçando a importância de compostos com mecanismos múltiplos.

Outro mecanismo importante é o efeito fumigante, decorrente da volatilidade dos OEs, que permite sua penetração pelo sistema traqueal e pelas vias respiratórias dos ácaros, ocasionando asfixia (Han *et al.*, 2011). Por contato direto, os compostos lipofílicos podem desorganizar a cutícula e as membranas celulares, comprometendo a permeabilidade e levando à desidratação e morte (Pavela; Benelli, 2016).

Além dos efeitos letais, diversos estudos relatam impactos comportamentais e fisiológicos, como repelência, inibição alimentar e alteração da postura de ovos, que afetam o sucesso reprodutivo e a sobrevivência da progênie (Susurluk, 2023; Zhu *et al.*, 2024). Tais respostas indicam que os OEs exercem ação multifacetada, atuando como toxinas, repelentes e reguladores de comportamento, o que os torna ferramentas promissoras para o manejo de populações de ácaros resistentes.

Por fim, a atuação dos óleos essenciais também pode envolver mecanismos oxidativos e enzimáticos, com indução de estresse oxidativo e alteração da atividade de enzimas detoxificantes, como esterase, glutathione S-transferase e oxidases do citocromo P450 (Koul; Walia.; Dhaliwal, 2008; Tak; Isman, 2017). Esses processos bioquímicos explicam, em parte, os efeitos subletais observados, incluindo a redução da oviposição, o prolongamento do

desenvolvimento e a menor viabilidade dos ovos. A integração desses mecanismos torna os OEs candidatos valiosos para o controle seletivo e sustentável de ácaros fitófagos em sistemas agrícolas tropicais.

2.8 Potencial acaricida de óleos essenciais com efeitos letais e subletais

O controle sustentável de ácaros-praga tem se beneficiado do crescente corpo de evidências científicas que demonstram a eficácia dos OEs como acaricidas naturais. Esses compostos, formados predominantemente por monoterpenos e sesquiterpenos voláteis, exibem múltiplos modos de ação: neurotóxicos, respiratórios, ovicidas e comportamentais. Além disso, têm sido bastante estudados quanto aos seus efeitos letais e subletais em espécies dos gêneros *Tetranychus* e *Oligonychus*.

Diversos autores relatam que os OEs não apenas causam mortalidade imediata, mas também comprometem a fecundidade, o crescimento populacional e o comportamento alimentar e reprodutivo das fêmeas sobreviventes. Briozo *et al.* (2023) avaliaram os óleos de *Alpinia zerumbet* (Pers.) B.L.Burt & R.M.Sm., *Bixa orellana* L., *Mesosphaerum suaveolens* (L.) Kuntze e *Syzygium cumini* (L.) Skeels sobre *O. punicae*, demonstrando que todos foram letais às fêmeas adultas e reduziram a eclosão de ovos em até 79 %. O óleo de *B. orellana*, rico em β -bisaboleno e β -cariofileno, apresentou a menor CL_{50} ($0,55 \mu\text{L mL}^{-1}$) e o maior efeito ovicida. Além disso, sob concentrações subletais (CL_{20} e CL_{30}), observou-se redução da taxa instantânea de crescimento populacional (r_i), evidenciando o impacto reprodutivo cumulativo desses compostos.

De forma semelhante, Ferreira *et al.* (2026) observaram que os OEs de *Illicium verum* Hook.f., *Cymbopogon flexuosus* (Nees ex Steud.) W.Watson e *Eugenia caryophyllus* (L.) Merr. & L.M.Perry exibem forte atividade acaricida sobre *T. neocaledonicus*. O óleo essencial de *I. verum*, rico em trans-anetol, apresentou a CL_{50} mais baixa, além de reduzir drasticamente a eclosão larval e o número de ovos viáveis. Os efeitos subletais avaliados em CL_{30} demonstraram queda significativa da taxa líquida de reprodução (R_0), da razão finita de aumento (λ) e do tempo de duplicação populacional (TD), inclusive na geração F_1 , revelando ação transgeracional desses compostos.

Resultados complementares foram obtidos por Sousa *et al.* (2025) em estudo com os óleos de *Juniperus virginiana* L. e *M. alternifolia* aplicados a *T. neocaledonicus* em feijão-fava (*P. lunatus*). O óleo de *J. virginiana* apresentou CL_{50} de $0,38 \mu\text{L mL}^{-1}$, ou seja, 4,4 vezes mais tóxico que *M. alternifolia* ($1,68 \mu\text{L mL}^{-1}$), e provocou redução de 67 % na viabilidade dos ovos

em CL₉₀. Ambos foram repelentes (98 % e 88 % de repelência em CL₃₀, respectivamente), mas somente *J. virginiana* reduziu significativamente a taxa instantânea de crescimento populacional, confirmando seu efeito subletal de longo prazo.

Estudos complementares reforçam o potencial multialvo desses compostos. Martins *et al.* (2025) verificaram que misturas de OEs, como *Thymus vulgaris* + *Rosmarinus officinalis*, exibem ação sinérgica sobre enzimas-alvo do sistema nervoso de *Tetranychus urticae*, afetando acetilcolinesterase e glutathione S-transferase e gerando efeitos neurotóxicos e antioxidantes simultâneos. Esses autores enfatizam que a ação multialvo reduz a probabilidade de resistência cruzada e permite que os OEs se comportem como “biopesticidas de amplo espectro”, atuando de maneira integrada sobre múltiplas rotas bioquímicas.

Além do efeito direto sobre os ácaros, os OEs apresentam vantagens ecológicas e sociais, especialmente em países tropicais. Ivase *et al.* (2017) ressaltam que biopesticidas de origem vegetal são ambientalmente biodegradáveis, apresentam baixo risco toxicológico e são compatíveis com práticas de manejo agroecológico e de agricultura familiar. No entanto, o mesmo estudo alerta para desafios de custo e de padronização de formulações, recomendando o uso de nanoemulsões e veículos naturais para aumentar a estabilidade e a persistência dos compostos voláteis.

Um avanço importante no controle alternativo de ácaros foi relatado por Sousa *et al.* (2025), que avaliaram a bioatividade dos óleos essenciais de *J. virginiana* e *M. alternifolia* sobre *T. neocaledonicus* em feijão-fava (*P. lunatus*). Os autores observaram elevada toxicidade do óleo de *J. virginiana* (CL₅₀ = 0,38 µL mL⁻¹) e forte repelência (98 %), associadas aos terpenos (Z)-thujopsene e cedrol. Ambos os óleos também apresentaram efeito ovicida e redução significativa da taxa instantânea de crescimento populacional. Esses resultados confirmam o potencial de compostos terpênicos no manejo de tetraniquídeos e fortalecem o uso de óleos essenciais como alternativas sustentáveis ao controle químico.

Assim, três conclusões principais podem ser reforçadas: (1) óleos essenciais causam efeitos letais diretos em várias espécies de Tetranychidae, com CL₅₀ frequentemente inferiores a 1 µL mL⁻¹; (2) produzem efeitos subletais cumulativos, reduzindo fecundidade, viabilidade de ovos e crescimento populacional; e (3) apresentam ação sinérgica e multialvo, agindo sobre enzimas neurofisiológicas, processos oxidativos e comportamentos de alimentação e oviposição. Essas evidências consolidam o papel dos óleos essenciais como ferramentas promissoras no manejo integrado de *T. gloveri*, especialmente no contexto semiárido, onde a rápida adaptação da espécie e a limitação de acaricidas sintéticos exigem alternativas sustentáveis e ambientalmente seguras.

2.9 Caracterização das plantas dos óleos essenciais testados

Os óleos essenciais são misturas complexas de compostos orgânicos voláteis, majoritariamente terpenoides e fenóis, que desempenham papéis ecológicos fundamentais nas plantas, incluindo defesa contra herbívoros e patógenos (BAKKALI et al., 2008; DHIFI et al., 2016). O conhecimento sobre a origem botânica, composição química e efeitos biológicos desses óleos é essencial para compreender potenciais aplicações no manejo de pragas, como os ácaros da família Tetranychidae (TAK; ISMAN, 2017). A seguir, são descritas as principais características das espécies vegetais utilizadas neste estudo.

2.9.1 *Zingiber officinale*

O gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe, família Zingiberaceae) é uma planta herbácea perene originária do sudeste asiático, amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais do mundo. Seu rizoma é utilizado tradicionalmente na alimentação e na medicina popular devido às suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, antimicrobianas e repelentes (Kaur et al., 2022).

A composição química do óleo essencial de *Z. officinale* varia conforme a origem geográfica, o estágio de maturação e o método de extração. Em geral, predominam sesquiterpenos como zingibereno, β -bisaboleno, α -curcumeno e ar-curcumeno, além de monoterpenos como geranial e neral (Kaur et al., 2022). Esses compostos são reconhecidos por sua alta volatilidade e atividade biológica em insetos e ácaros, atuando como neurotoxinas, moduladores comportamentais ou interferentes da oviposição (López; Pascual-Villalobos, 2010; Tak; Isman, 2017).

Estudos demonstram que o óleo de gengibre exerce efeito inseticida e repelente sobre artrópodes pragas de importância agrícola, apresentando atividade neurotóxica e alterando parâmetros fisiológicos relevantes (Kaur et al., 2022). Em espécies de ácaros Tetranychidae, revisões recentes descrevem efeitos consistentes de óleos essenciais ricos em sesquiterpenos, incluindo mortalidade de fêmeas adultas e redução da fecundidade (Susurluk, 2023; Zhu et al., 2024). Além disso, a presença de zingibereno e compostos oxigenados tem sido associada a efeitos aditivos ou sinérgicos em formulações combinadas, potencializando a eficácia acaricida (Bakkali et al., 2008; Gupta et al., 2023).

2.9.2 *Rosmarinus officinalis*

O alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) é uma planta aromática pertencente a família Lamiaceae perene originária da região do Mediterrâneo, amplamente utilizada como condimento, planta ornamental e fonte de antioxidantes naturais. Seu óleo essencial é um dos mais estudados quanto às propriedades inseticidas e acaricidas, devido à presença de monoterpenos oxigenados com elevada bioatividade (Rafya *et al.*, 2024).

Os principais constituintes do óleo de *R. officinalis* incluem 1,8-cineol, α -pineno, cânfora, borneol e verbenona, que representam mais de 70% do total dos compostos voláteis (Sheasha *et al.*, 2023; Rafya *et al.*, 2024). Esses compostos apresentam comprovada ação neurotóxica em artrópodes, interferindo na transmissão sináptica e no equilíbrio oxidativo das células (Isman, 2020).

Em estudos com *Tetranychus urticae*, o óleo de alecrim demonstrou mortalidade significativa, inibição da postura e redução da viabilidade dos ovos (Sheasha *et al.*, 2023). Sua eficácia tem sido atribuída à ação combinada de 1,8-cineol e α -pineno, além de efeitos subletais que afetam o comportamento alimentar e locomotor dos ácaros.

2.9.3 *Foeniculum vulgare*

A erva-doce (*Foeniculum vulgare* Mill., família Apiaceae) é uma espécie nativa da região Mediterrânea, amplamente cultivada para fins medicinais, culinários e industriais. O óleo essencial é extraído principalmente das sementes e apresenta aroma característico em função da predominância de fenóis e éteres aromáticos.

Estudos químicos indicam que o trans-anetol é o constituinte majoritário do óleo de *F. vulgare*, podendo representar entre 50% e 80% de sua composição, seguido por fenchona e estragol (Samy *et al.*, 2024; Abd Ellaoui *et al.*, 2021). Esses compostos estão associados a atividades antimicrobianas, inseticidas e potencial efeito acaricida. Avaliações bioacaricidas demonstram que o óleo essencial de *F. vulgare* apresenta toxicidade por contato e ação repelente contra *Tetranychus urticae*, incluindo efeitos letais e interferência em parâmetros reprodutivos (Ebadollahi; Sendi, 2014). O trans-anetol, por sua vez, tem sido apontado como responsável por alterações neurofisiológicas e por induzir efeitos subletais em artrópodes, como redução da postura e comprometimento do desenvolvimento (Naseem *et al.*, 2022).

Devido à sua baixa toxicidade a organismos não alvo e potencial para formulações naturais, *F. vulgare* é considerado um candidato promissor para integração em estratégias sustentáveis de manejo de ácaros fitófagos.

3 RESULTADOS

3.1 Artigo 1 - Primeiro registro de *Tetranychus gloveri* Banks (Acari: Tetranychidae) em *Adenium* spp. no Brasil: injúrias foliares e adequação hospedeira baseada no crescimento populacional

PRIMEIRO REGISTRO DE *Tetranychus gloveri* Banks (Acari: Tetranychidae) em *Adenium* spp. NO BRASIL: INJÚRIAS FOLIARES E CRESCIMENTO POPULACIONAL

RESUMO

Plantas de rosa do deserto (*Adenium* spp.) representa um grupo de plantas suculentas ornamentais de grande importância econômica no Brasil; entretanto, informações sobre a associação com ácaros fitófagos e os efeitos dessa interação são escassas. O objetivo deste estudo foi registrar a ocorrência de acaro fitofago associados a *Adenium* spp., identificar a espécie envolvida, caracterizar as injúrias foliares causadas e avaliar a adequação dessas plantas como hospedeiras através do crescimento populacional. Folhas de *Adenium obesum*, *A. arabicum* e *A. somalense* foram coletadas em viveiro comercial, e os ácaros presentes foram realizadas preparações microscópicas para avaliar os marcadores morfológicos em seguida realizou a identificação utilizando. chaves dicotômicas. As injúrias foliares foram estimadas utilizando escala visual de notas, e a adequação hospedeira foi avaliada a partir da observação da estrutura etária da população (via análises multivariadas) e da taxa instantânea de crescimento populacional (ri), essa última determinada em arenas experimentais com discos foliares das espécies avaliadas. *Tetranychus gloveri* Banks (Acari: Tetranychidae) foi identificado nas três espécies de *Adenium*, configurando o primeiro registro dessa associação no Brasil. Este acaro causou injúrias variando de 61% a 80% da área foliar. Os valores de ri foram positivos para as três espécies de rosa de deserto avaliadas. Entretanto, *A. arabicum* e *A. somalense* apresentaram os maiores valores de ri, evidenciando maior adequação como hospedeira, enquanto *A. obesum* apresentou o menor desempenho populacional do ácaro. A análise multivariada de componentes principais (PCA) e de agrupamento hierárquico confirmaram distinções populacionais do ácaro entre as espécies de *Adenium*, especialmente quanto à estrutura etária da população. Conclui-se que *Adenium* spp. são hospedeiras favoráveis ao desenvolvimento de *T. gloveri*, com diferenças na adequação entre as espécies, o que indica potencial de estabelecimento e danos em sistemas ornamentais e reforça a necessidade de estudos voltados ao manejo desse ácaro em rosa do deserto.

Palavras-Chave: Ocorrência, ácaro fitófago, injúria foliar, *Adenium* spp., crescimento populacional.

ABSTRACT

Desert rose plants (*Adenium* spp.) are a group of ornamental succulents with significant economic importance in Brazil; however, information regarding their association with phytophagous mites and the effects of this interaction remains scarce. This study aimed to report the occurrence of phytophagous mites associated with *Adenium* spp., identify the species involved, characterize the resulting foliar injuries, and evaluate host suitability based on the population growth of the mites. Leaves of *Adenium obesum*, *A. arabicum* and *A. somalense* were collected from a commercial nursery, and mites were mounted on microscope slides and identified using dichotomous keys. Foliar injuries were assessed using a visual rating scale, and host suitability was evaluated based on the age structure of the mite population (via multivariate analyses) and the instantaneous population growth rate (r_i), the latter determined in experimental arenas using leaf discs of the evaluated species. *Tetranychus gloveri* Banks (Acari: Tetranychidae) was identified on all three *Adenium* species, constituting the first record of this association in Brazil. The mite caused severe leaf injuries, ranging from 61% to 80% of the foliar area, corresponding to a mean rating of 5 on a 0 to 6 scale, regardless of the host species. The r_i values were positive for *A. obesum*, *A. arabicum* and *A. somalense*, indicating potential population growth on all hosts. However, *A. arabicum* and *A. somalense* exhibited the highest r_i values, suggesting greater suitability as hosts, while *A. obesum* showed lower mite performance. Principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis confirmed distinct population structures of the mite across *Adenium* species, especially regarding age composition. It is concluded that *Adenium* spp. are favorable hosts for the development of *T. gloveri*, with differences in host suitability among species, highlighting the potential for mite establishment and damage in ornamental production systems and reinforcing the need for studies focused on pest management in desert rose cultivation.

Keywords: Occurrence, phytophagous mite, leaf injury, instantaneous growth rate.

3.1.1 Introdução

A rosa do deserto (*Adenium* spp.) pertencente à família Apocynaceae e, apesar de ser nativa da África tropical e da Arábia, foi introduzida e popularizada em diferentes partes do mundo (Talukdar, 2012; Hossain, 2018). Essa espécie tem se destacado no mercado brasileiro, nos últimos anos, devido sua rusticidade (pouco exigente em água), por apresentar formas escultóricas variadas e por possuir floração intensa (Colombo *et al.*, 2016). De acordo com o Instituto Brasileiro de Floricultura (IBRAFLO, 2022), o Produto Interno Bruto da cadeia produtiva de flores e plantas ornamentais foi de R\$ 7,16 bilhões em 2017, representando 0,53% do agronegócio brasileiro nesse ano. Além disso, o PIB per capita deste segmento foi estimado em R\$ 35,3 mil, sendo 76% superior ao médio da agropecuária (IBRAFLO, 2022). Segundo pesquisadores do CEPEA (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada), isso evidencia a elevada agregação de valor por trabalhador na atividade, a qual é formada predominantemente por pequenos estabelecimentos familiares (IBRAFLO, 2022).

Contudo, o processo de produção, cultivo e comercialização de rosa do deserto hospeda um complexo de artrópodes-praga que podem causar danos significativos e comprometer todo o processo produtivo. Dentre eles, pode-se destacar a acarofauna fitófaga. Ácaros fitófagos correspondem a um grupo de artrópodes que se alimentam de conteúdo celular, principalmente de origem foliar. Este grupo é composto de muitas espécies pertencentes a diferentes táxons, tais como as famílias de ácaros Tetranychidae, Eriophyidae, Tarsonemidae e Tenuipalpidae que possuem diversas espécies de importância econômica e que infestam um grande número de plantas (Saito, 2010).

Desta forma, inúmeros trabalhos vêm sendo conduzidos para fins de conhecimento da acarofauna presente em vários tipos de culturas de importância agrícola (Duarte; Mendonça; Navia, 2020; Sousa Neto *et al.*, 2021). Além disso, estudos sobre bioecologia de ácaros de importância agrícola também têm sido desenvolvidos, com destaque para os trabalhos envolvendo ocorrência, biologia, tabela de vida e aplicação de acaricidas naturais em ácaros da família Tetranychidae sobre diferentes tipos de hospedeiros, tais como, feijão-fava (*Phaesolus lunatus* L.) (Gomes Neto *et al.*, 2019) e para o eucalipto (*Eucalyptus* spp.) (Ferraz *et al.*, 2018, 2020; Brioza *et al.*, 2023).

Entretanto, relatos técnicos-científicos de artrópodes fitófagos associados a rosa do deserto são escassos (Colombo *et al.*, 2016). *A. obesum* já foi associado a *Tetranychus gloveri* na Índia, dentro de um contexto de rápida expansão da espécie em Kerala, o que sugere elevada capacidade de estabelecimento em plantas de valor ornamental (BHASKAR; MOHAN;

SREESHA, 2022). No Brasil, foi relatada apenas a presença de algumas espécies de cochonilhas e pulgões em plantas de *Adenium. obesum* (Tiago Neto *et al.*, 2017), e a ocorrência de ácaros tetraniquídeos em associação com essa espécie na Paraíba (Nascimento; Maciel, 2021). Tiago Neto *et al.* (2017) relatou ainda a presença de tetraniquídeos associados a fungos entomopatogênicos neste hospedeiro.

A interação artrópode-planta pode relacionado com uma variedade de adaptações nas plantas e nos artrópodes. Esta interação pode ser identificada através do efeito dos hospedeiros sobre a biologia do artrópode, onde espera-se que os artrópodes melhor adaptados ao seu hospedeiro expresse melhores parâmetros biológicos (Vásquez; Colmenárez; Moraes, 2014). Uma forma relativamente simples de verificar o efeito do hospedeiro sobre a biologia de um organismo é através da avaliação da taxa instantânea de crescimento (ri) (Walthall; Stark, 1997).

No Brasil, os estudos que envolvem a fitossanidade em plantas de rosa do deserto são escassos, devido a importância desta planta ornamental estudo relacionado a este tema são importantes. Em visitas fitossanitárias em jardins Diante disso, este estudo teve como objetivo registrar a ocorrência de *Tetranychus gloveri* associado a três espécies de rosa do deserto, caracterizar as injúrias foliares causadas pelo ácaro e avaliar a adequação dessas plantas como hospedeiras com base na taxa instantânea de crescimento populacional.

3.1.2 Material e métodos

Folhas de rosa do deserto das espécies *A. obesum*, *A. arabicum* e *A. somalense* infestadas de ácaros foram coletadas de um viveiro comercial localizado em Teresina, estado do Piauí, nordeste do Brasil, no mês de setembro de 2022. Foram amostradas dez plantas de *A. obesum*, oito plantas de *A. arabicum* e cinco plantas da espécie *A. somalense* e coletadas, aleatoriamente, dez folhas de cada espécie. O material coletado foi acondicionado em sacos de papel com etiquetas de acordo com espécie de rosa do deserto e em seguida transportadas para o Laboratório de Entomologia do Setor de Fitossanidade da Universidade Federal do Piauí, em seguida realizou análise preliminar das folhas, onde foi quantificado em todo os estádios de desenvolvimento, em seguida realizou onde foram preparações microscópicas para avaliar os marcadores morfológicos.

Os ácaros adultos foram montados em lâminas microscópicas em meio de Hoyer e colocadas em estufa a 50° por sete dias. Machos e fêmeas foram individualizados em lâminas microscópicas, totalizando 14 fêmeas em posição dorsoventral e 13 machos em posição lateral

(Moraes; Flechtmann, 2008). As lâminas foram observadas sob um microscópio de contraste de fase (Marca Olympus Modelo BX41) e os espécimes foram identificados pelo Dr. José Wagner da Silva Melo (Departamento de Zoologia, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil) e confirmados pelo Dr. Manoel Guedes Correa Gondim Junior (Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Brasil).

A estimativa da intensidade das injúrias causadas pelo ácaro nas folhas de *A. obesum*, *A. arabicum* e *A. somalense* foi realizada através notas visuais para todas as folhas coletadas (10 folhas de cada espécie). As notas foram baseadas em uma escala diagramática visual de injúrias variando de 0 a 100% na superfície abaxial das folhas. Esse método foi adaptado de Lourenção *et al.* (2000), onde:

Nota 1 = folhas sem qualquer injúria (0%);

Nota 2 = folhas com 1–20% de injúrias;

Nota 3 = folhas com 21–40% de injúrias;

Nota 4 = folhas com 41–60% de injúrias;

Nota 5 = folhas com 61–80% de injúrias;

Nota 6 = folhas com 81–100% de injúrias.

Para a análise comparativa das notas de injúrias entre as espécies de *Adenium* spp., empregou-se o teste de Kruskal-Wallis, apropriado para dados não paramétricos (já que os dados não atenderam aos pressupostos de análise de variância). Para comparação múltipla entre os grupos, aplicou-se o pós-teste de Dunn com correção de Holm e a significância foi considerada ao nível de 5% ($P < 0,05$). As análises estatísticas foram conduzidas no software R.

A taxa de crescimento instantâneo (r_i) foi determinada para as três espécies de *Adenium* spp. a partir de espécimes cultivados em vasos de 2L em casa de vegetação. A arena experimental consistiu em placas de Petri (5 cm de diâmetro) contendo espuma de 1 cm de altura, papel filtro e disco foliar (3 cm de diâmetro) de uma espécie de *Adenium* spp. com superfície abaxial para cima e circundada por uma camada de algodão hidrofílico.

Após a preparação das arenas experimentais, com um total de dez repetições por espécie, cada uma recebeu três fêmeas adultas de ácaros (24–72 h) provenientes da criação da espécie no Laboratório de Entomologia. As fêmeas foram transferidas com o auxílio de um pincel de cerdas finas. As arenas experimentais foram mantidas em condições controladas (25 ± 1 °C, $70 \pm 10\%$ UR e fotoperíodo de 12 h). No décimo dia, o número de ácaros, ovos, ninfas e adultos em cada disco foram contados em estereomicroscópio na faixa de zoom de 6,7:1, perfocal em

todas as ampliações para determinar a taxa de crescimento instantâneo (r_i) para o ácaro em cada espécie.

O r_i foi calculado pela equação de Stark *et al.* (1997): $r_i = \ln (N_f/N_0)/\bar{y}t$, onde N_0 é o número inicial de indivíduos na população e N_f é o número de indivíduos no final do intervalo de tempo $\bar{y}t$. O valor r_i positivo indica crescimento populacional, o r_i igual a zero indica que a população está estável e o r_i negativa indica declínio populacional até a extinção. Para a análise estatística dos valores de r_i , adotou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC). Inicialmente, os dados foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro–Wilk e de homogeneidade de variâncias de Bartlett. Após o atendimento dos pressupostos, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A análise estatística foi realizada utilizando o software R.

Foram realizadas ainda análises multivariadas (através do software R) para a abundância de indivíduos de acordo com o estágio de desenvolvimento de *T. gloveri* nas diferentes espécies de *Adenium*. A análise de componentes principais (PCA) foi empregada para avaliar padrões multivariados associados ao crescimento populacional de *T. gloveri* nas diferentes espécies de *Adenium*, considerando os números de ovos, ninfas, machos e fêmeas observados em cada hospedeiro. Previamente às análises, os dados foram padronizados (média zero e variância unitária), a fim de eliminar o efeito de escala entre as variáveis e garantir comparabilidade entre os estágios de desenvolvimento. A PCA foi conduzida com base na matriz de correlação, sendo os componentes principais selecionados de acordo com a proporção da variância explicada. A interpretação dos eixos foi realizada por meio das cargas fatoriais (loadings) das variáveis originais e dos escores das espécies, permitindo identificar quais estágios populacionais mais contribuíram para a separação entre os hospedeiros avaliados.

Complementarmente, realizou-se uma análise de agrupamento hierárquico (cluster) com o objetivo de identificar similaridades entre as espécies de *Adenium* quanto ao desempenho populacional de *T. gloveri*. Para essa análise, utilizou-se a distância de Bray–Curtis, e o método de ligação média (UPGMA) foi aplicado. O número de grupos foi definido a partir da inspeção visual do dendrograma, sendo os resultados interpretados de forma integrada à PCA.

3.1.3 Resultados e Discussão

Baseado na avaliação dos marcadores morfológicos, foi confirmado que o ácaro associado a injúrias de rosa do deserto é a espécie identificada como *Tetranychus gloveri* Banks,

1900 (Acari: Tetranychidae). Este é o primeiro registro de ocorrência de *T. gloveri* associado as espécies de rosa do deserto: *A. obesum*, *A. arabicum* e *A. somalense*.

O ácaro macho da espécie *T. gloveri* possui o edeago protuberante (Figura 1A), de projeção anterior globular arredondada, projeção posterior pontiaguda e superfície dorsal curva, especialmente anteriormente (Seeman; Beard, 2011). Os caracteres da fêmea de *T. gloveri* complementa a identificação, apresentando o empodium com seis pelos proximoventral (Figura 1B), cada empodium I-IV com uma unha longa, tarso I com a inserção das setas tácteis 1- 3 sobrepondo a inserção da seta dúplice proximal, tarso III com uma seta tátil proximal, estrias dorsais longitudinais entre as setas e1 - e1 e fl - fl e estria dorsal entre as setas e1 - fl transversal em forma de diamante (Seeman; Beard, 2011).

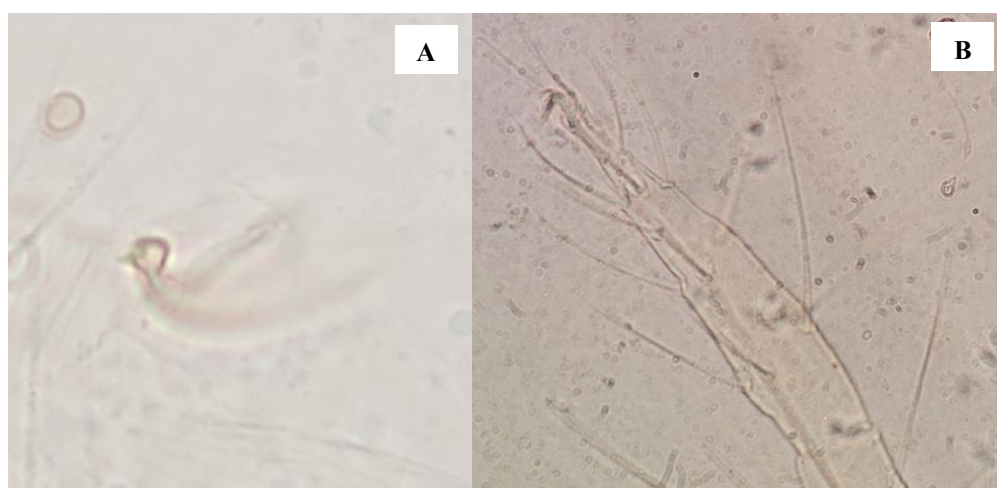


Figura 1. A. Edeago do macho de *T. gloveri*. B. Perna I da fêmea de *T. gloveri*

Fonte: Autor.

A identificação de espécies da família Tetranychidae é realizada examinando o edeago do macho (Moraes; Flechtmann, 2008), no entanto, as características morfológicas das fêmeas devem ser consideradas (Jeppson; Keifer; Baker, 1975; Uchoa *et al.*, 1994; Bolland; Gutierrez; Flechtmann, 1998). Fêmeas de *T. gloveri* possui coloração avermelhada, com irregulares pontos confluentes escuros em cada lado do corpo; pernas amareladas; as pernas são delgadas, fêmur I com mais de duas vezes o comprimento da largura; tíbia I claramente mais longa que a patela I; tarsos bastante longos, terminando em uma garra, que é fortemente dobrada próximo ao meio e com quatro fendas além (Flechtmann, 2019). A fase de macho apresenta tamanho menor, o opistossoma sendo muito mais estreito posteriormente, quase afunilando-se até um ponto, o primeiro par de pernas são mais longas que as da fêmea.

T. gloveri é conhecido nos Estados Unidos, México, Panamá, Brasil, Guam e Porto Rico (Flechtmann, 2019). *T. gloveri* foi anteriormente reportado na Índia como *T. okinawanus*,

posteriormente considerado sinônimo da espécie após revisão taxonômica recente (BHASKAR et al., 2022). Este artrópode infesta uma ampla gama de plantas, sendo considerado uma praga relevante. Este ácaro difere da espécie *Tetranychus tumidus* devido possui grande protuberância de formato arredondado anteriormente no edeago, com uma ponta posterior pontiaguda no botão (Flechtmann, 2019). Os ovos são incolores quando recém-postos e escurecem à medida que o embrião se desenvolve (Boundreax, 1979).

Em diferentes países, esta espécie foi registrada em 216 espécies botânicas (Migeon; Dorkeld, 2025, sendo 6 delas no Brasil: *Gossypium* sp. (Algodão), *Phaseolus vulgaris* L. (feijão comum), *Phaseolus lunatus* L. (feijão-fava), *Vigna* sp. (feijão-fradinho, Feijão-de-corda), *Carica papaya* L. (Mamão), e *Dolichos* sp. (Mangalô) (Flechtmann; Moraes, 2017). O primeiro relato no país foi realizado por Bondar (1930), em estudo sobre infestações em feijão comum (*P. vulgaris* .) no estado da Bahia. Tem registro que a fitofagia desta espécie causa manchas enferrujadas e manchas nas folhas e a eventual morte do hospedeiro. Apesar dos relatos da seriedade, pouco se conhece sobre a biologia de *T. gloveri* (Jeppson; Keifer; Baker, 1975).

Nas espécies de *Adenium* spp. foram encontrados ácaros *T. gloveri* em todas os seus estágios de desenvolvimento, ocupando a face abaxial da folha. Coletou-se 11 ovos, 31 imaturos, 5 machos e 23 fêmeas na espécie *A. obesum*. Na *A. somalense*, foram contabilizados 50 ovos, 18 imaturos, 7 machos e 2 fêmeas e em *A. arabicum* foram coletados 153 ovos, 38 imaturos, 12 machos e 8 fêmeas (Figura 2).

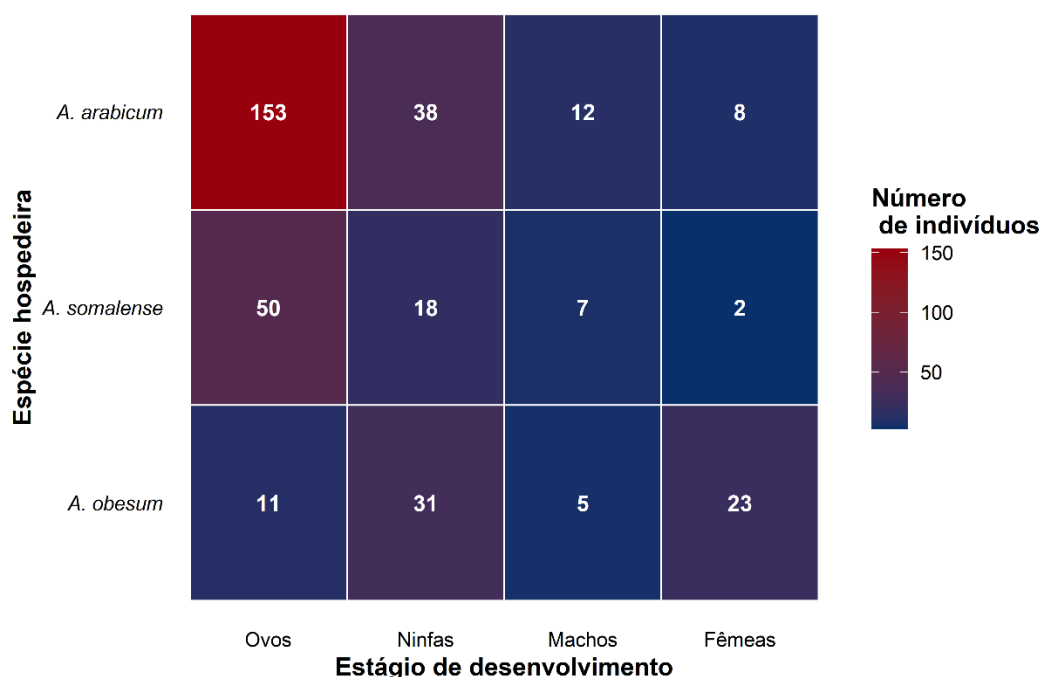


Figura 2. Abundância dos estágios de desenvolvimento de *T. gloveri* em diferentes espécies de *Adenium*.

Fonte: Autor.

Em relação a diferença no número de ovos, imaturos e adultos encontrados nas 3 espécies analisadas, uma possível causa seria o fato de ter sido realizada aplicação de óleo de laranja nos espécimes de *A. obesum* e *A. somalense* pelos produtores nos dias que antecederam a coleta, no intuito de controlar eventuais pragas. Também foi observada uma alta presença de exúvias e ovos inviáveis (murchos) nas plantas destas espécies, o que converge com o eventual efeito acaricida objetivado com a aplicação do óleo.

As injúrias nas folhas de rosa do deserto provocadas pelo *T. gloveri* são percebidas na face adaxial das folhas, próximo a nervura central. Em alto nível de infestação, estes ácaros costumam ocupar toda a planta, e, como consequência, as folhas tornam-se bronzeadas e têm sua capacidade fotossintética reduzida, ocasionando sua necrose e queda em poucos dias. A evolução da área foliar com injúrias causadas pelo ácaro *T. gloveri* nas três espécies de rosa do deserto é ilustrada na Figura 3.

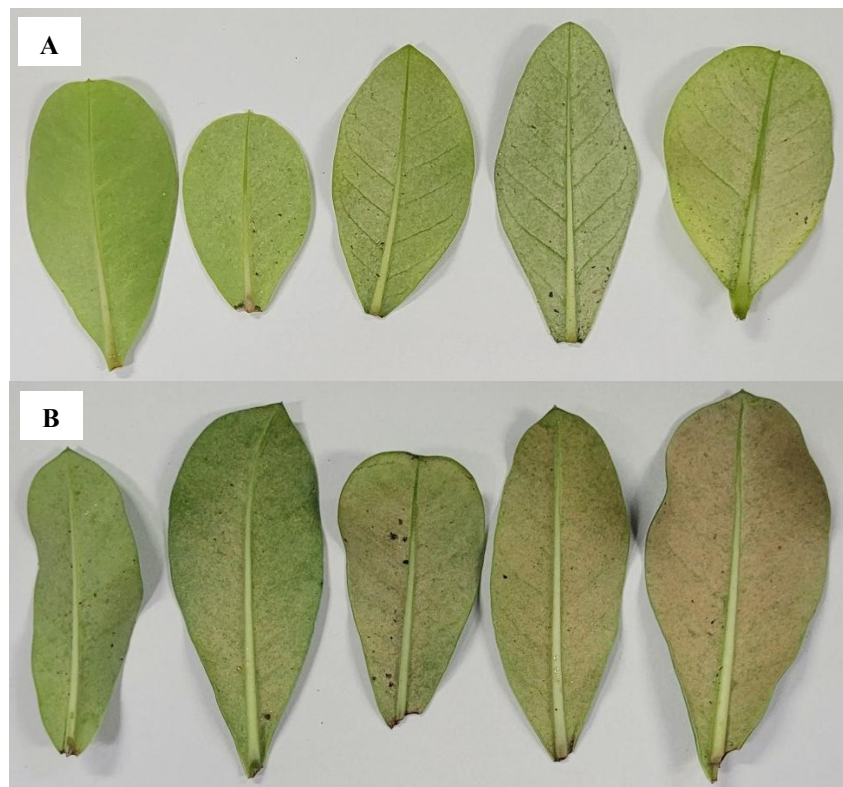




Figura 3. Folhas de *A. arabicum*, *A. obesum* e *A. somalense* com injúrias causadas por *T. gloveri*, respectivamente (A, B e C)

Fonte: Autor.

Todas as folhas coletadas de *A. obesum*, *A. arabicum* e *A. somalense* apresentaram injúrias provocadas pelo ácaro *T. gloveri*. As notas atribuídas foram cinco para *A. obesum*, *A. arabicum* e *A. somalense*, ou seja, de 61% a 80% da área foliar da face abaxial possuíam injúrias.

As injúrias em folhas provocadas por ácaros da família Tetranychidae consistem em pequenas manchas esbranquiçadas nas folhas, que posteriormente evoluem para manchas cloróticas, podendo assumir coloração prateada ou verde-pálida, resultando em diminuição da capacidade fotossintética, podendo ser seguida de ressecamento e posterior queda das folhas (Moraes; Flechtmann, 2008). Atribuir uma nota de injúria para folhas de uma cultura atacada por ácaros pode ser uma importante ferramenta qualitativa para indicar o potencial de praga de ácaros fitófagos. Devido ao seu pequeno tamanho, de difícil percepção a olho nu, o reconhecimento das injúrias é útil para detectar a ocorrência de *T. gloveri* em rosa do deserto e, desta forma, planejar estratégias de manejo.

Para a escala de notas de injúrias não houve diferença estatística significativa entre as espécies avaliadas ($P > 0,05$). As médias das notas de injúria foram: *A. arabicum* ($5,10 \pm 0,55$), *A. obesum* ($5,00 \pm 0,55$) e *A. somalense* ($5,00 \pm 0,46$) (Figura 4). Esses valores indicam um padrão homogêneo de injúrias entre as espécies, refletindo que todas apresentaram elevada suscetibilidade ao ácaro. Na prática, isso reforça a necessidade de adoção de medidas preventivas e estratégias integradas de controle fitossanitário em cultivos ornamentais dessa planta, independentemente da espécie cultivada. Além disso, os resultados evidenciam o potencial do ácaro como praga relevante para *Adenium* spp., dada a capacidade de causar níveis substanciais de injúria em todas as espécies avaliadas.

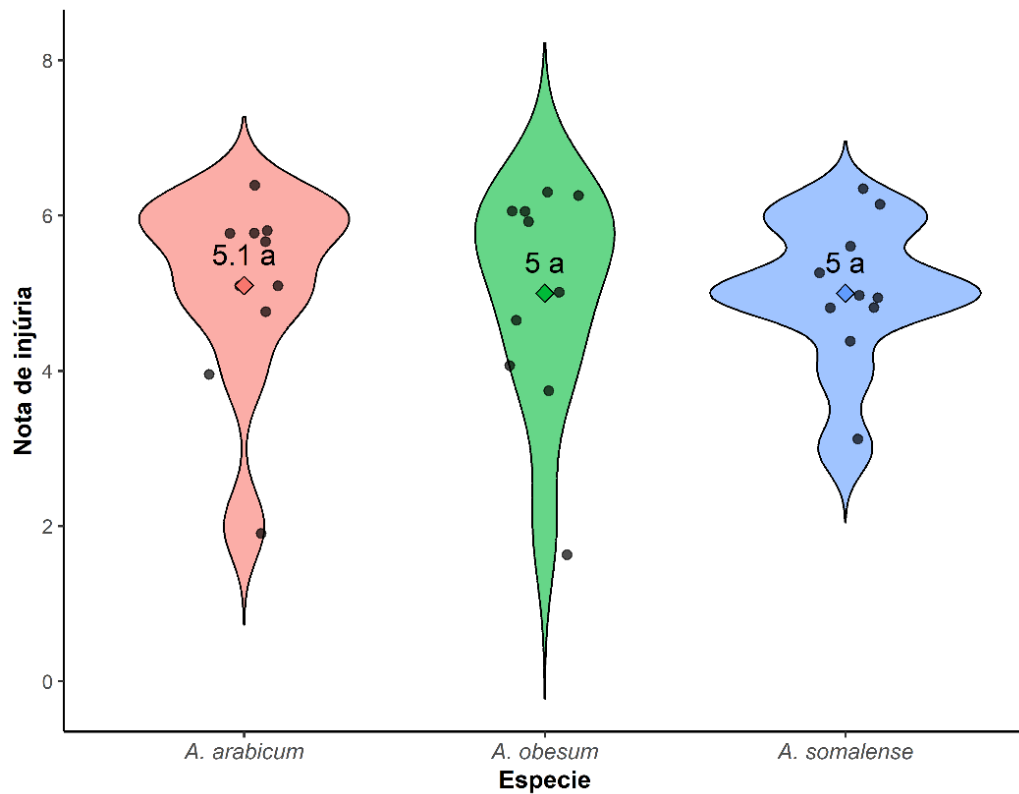


Figura 4. Distribuição das notas de injúria causadas por *T. gloveri* em espécies de *Adenium* spp

Fonte: Autor.

Os valores da taxa instantânea de crescimento populacional (r_i) indicam que *T. gloveri* apresentou uma interação positiva com as espécies de *Adenium* avaliadas, embora com diferenças significativas entre os hospedeiros. As maiores taxas de crescimento instantâneo foram observadas em *A. arabicum* ($0,12 \pm 0,02$) e *A. somalense* ($0,11 \pm 0,02$), que não diferiram estatisticamente entre ($P > 0,05$). Em contraste, *A. obesum* apresentou valores significativamente menores de r_i ($0,02 \pm 0,01$) ($P < 0,05$) (Figura 5). Esse padrão evidencia que, embora *T. gloveri* seja capaz de manter crescimento populacional positivo em todas as espécies avaliadas, a qualidade do hospedeiro exerce influência direta sobre seu desempenho populacional, resultando em maior adequação de *A. arabicum* e *A. somalense* em relação a *A. obesum*.

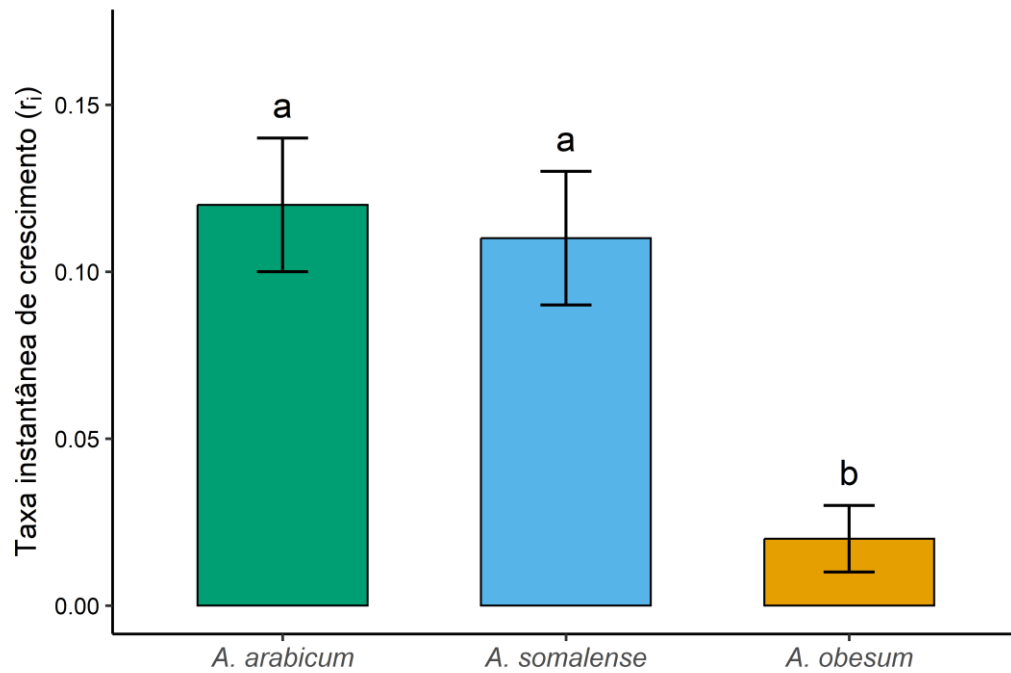


Figura 5. Taxa de crescimento populacional instantâneo (r_i) de *T. gloveri* em três espécies de *Adenium* spp. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Fonte: Autor.

As diferenças observadas nos valores de r_i entre as espécies de *Adenium* podem ser atribuídas a variações nas características nutricionais, químicas e morfológicas das folhas, que determinam a qualidade do hospedeiro para ácaros fitófagos. Hospedeiros mais adequados tendem a oferecer um balanço nutricional mais favorável, especialmente em termos de proteínas e carboidratos, fatores diretamente associados ao aumento da fecundidade e a taxas mais rápidas de crescimento populacional (Puspitarini *et al.*, 2021). Por outro lado, a produção de metabólitos secundários, como terpenoides, flavonoides, taninos e alcaloides, pode atuar como mecanismo de defesa vegetal, reduzindo o desempenho biológico dos herbívoros e limitando o crescimento populacional (Isman; Grieneisen, 2014). Além disso, modificações estruturais das folhas, como maior espessura cuticular e maior densidade de tricomas, podem dificultar a alimentação e a oviposição, afetando negativamente a adequação do hospedeiro (Valverde; Fornoni; Núñez Farfán, 2001; Begon; Mortimer; Thompson, 2009). Essas características também influenciam comportamentos críticos de sobrevivência, como a dispersão, uma vez que ácaros tendem a abandonar hospedeiros de menor qualidade para colonizar plantas mais adequadas, ajustando sua estratégia reprodutiva para maximizar a aptidão, inclusive por meio de alterações no tamanho dos ovos e na proporção sexual da progênie (Kundun *et al.*, 2025). De forma ainda mais refinada, variações na morfologia foliar podem induzir mudanças no “tipo

de vida” do ácaro, afetando a densidade da teia e a seleção de micro-habitats para oviposição, repouso e defecação, reforçando o papel central da qualidade do hospedeiro na estruturação da interação ácaro–planta (Mushtaq *et al.*, 2023).

A análise de componentes principais revelou que o primeiro componente principal (PC1) foi responsável por 64,13% da variância e o segundo componente (PC2) por 35,87%. A separação observada no biplot (Figura 6A) reflete diferenças na estrutura populacional de *T. gloveri* entre as espécies de *Adenium*, considerando a covariação entre os diferentes estágios de desenvolvimento. A análise dos vetores indica que o primeiro componente principal (PC1) está fortemente associado às variáveis ovos e machos, cujos vetores apresentam maior projeção ao longo do eixo horizontal, enquanto o segundo componente principal (PC2) está mais relacionado aos estágios ninfal e adultos (fêmeas), refletindo variações na composição populacional do ácaro. Embora *A. arabicum* tenha apresentado os maiores valores absolutos de ovos (153 indivíduos), ninfas (38 indivíduos), machos (12 indivíduos) e fêmeas (8 indivíduos), sua posição no espaço multivariado indica maior associação relativa com os estágios ninfal e adulto, evidenciando uma população mais estruturada e com maior proporção de indivíduos em fases avançadas do desenvolvimento. *A. somalense* posicionou-se predominantemente ao longo do gradiente definido pelo PC2, porém com baixa contribuição de fêmeas (2 indivíduos), apesar do número moderado de ovos (50 indivíduos), indicando possível limitação na transição para estágios adultos. Em contraste, *A. obesum*, que apresentou 11 ovos, 31 ninfas, 5 machos e 23 fêmeas, posicionou-se no extremo negativo do PC1, mais próximo dos vetores associados a ovos e machos, sugerindo um padrão populacional distinto das demais espécies no contexto multivariado.

A análise de agrupamento hierárquico corroborou os padrões identificados pela análise de componentes principais (Figura 6B). O dendrograma revelou a formação de dois grupos principais, sendo o primeiro composto por *A. arabicum* e *A. somalense*, espécies que apresentaram maior desempenho quanto ao crescimento populacional de *T. gloveri*. O segundo grupo foi formado exclusivamente por *A. obesum*, evidenciando sua distinção em relação às demais espécies, associada às menores densidades populacionais e a uma estrutura populacional mais complexa.

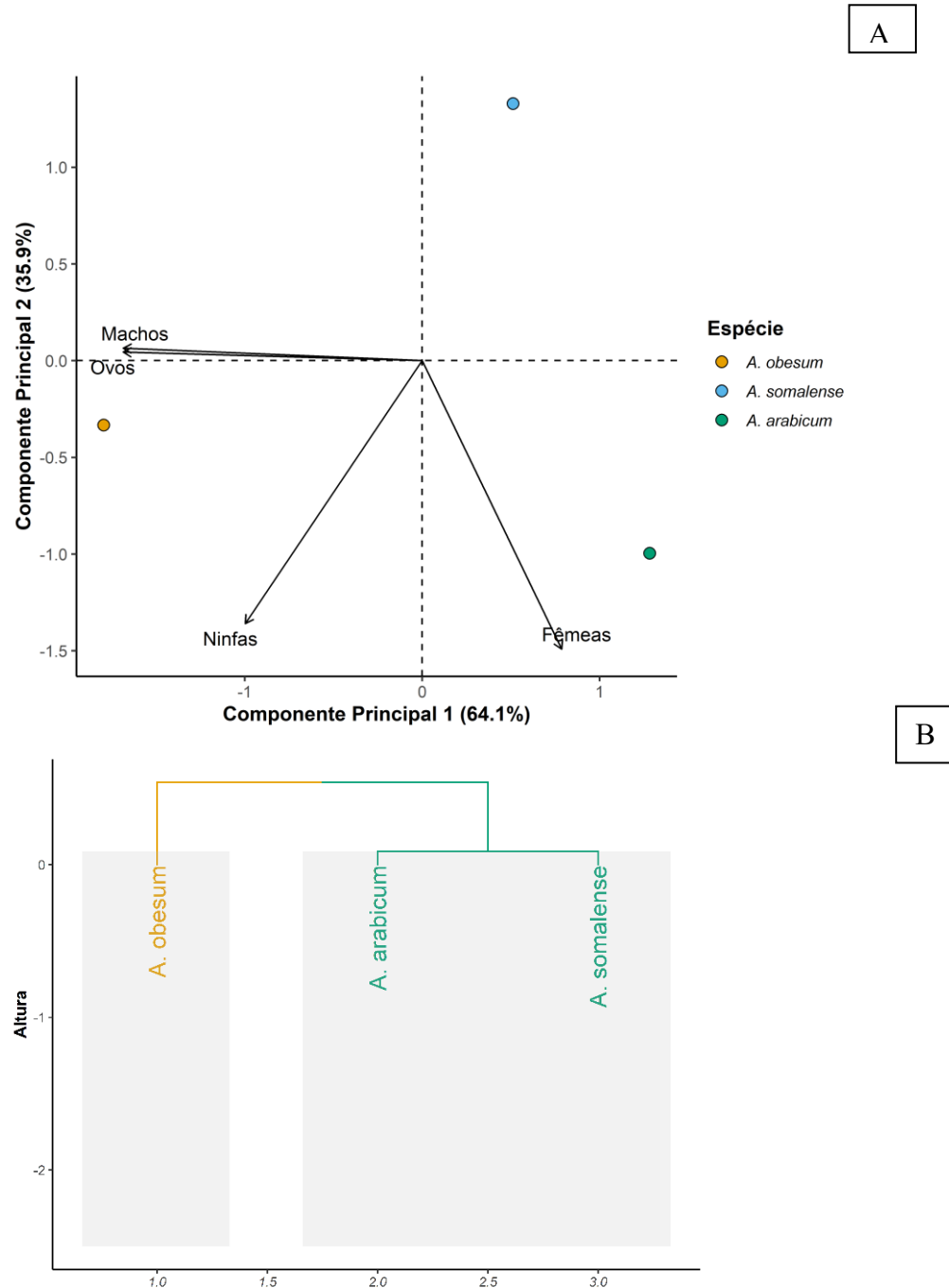


Figura 6. Padrões multivariados do crescimento populacional de *T. gloveri* em espécies de *Adenium*, obtidos por análise de componentes principais (A) e análise de agrupamento hierárquico (B)

Fonte: Autor.

O ácaro *T. gloveri* é uma espécie fitófaga e de acordo com os resultados obtidos apresenta potencial para causar danos econômicos a uma importante cultura ornamental como a rosa do deserto (*Adenium* spp). Em virtude disto, fazem-se necessários estudos futuros que

avaliem os parâmetros biológicos e reprodutivos de *T. gloveri* nessa cultura, além de formas de manejo do ácaro.

3.1.4 Conclusões

O presente estudo constitui o primeiro registro da ocorrência de *Tetranychus gloveri* associado a espécies de *Adenium* spp. (*A. obesum*, *A. arabicum* e *A. somalense*), ampliando o conhecimento sobre a gama de hospedeiros desse ácaro fitófago e destacando sua relevância para a horticultura ornamental. A identificação morfológica detalhada, aliada ao registro de todos os estágios de desenvolvimento nas três espécies, confirma o estabelecimento populacional de *T. gloveri* em rosa do deserto.

As análises populacionais e multivariadas demonstraram que, apesar da suscetibilidade generalizada quanto às injúrias, a qualidade do hospedeiro influencia diretamente o desempenho biológico de *T. gloveri*. As maiores taxas de crescimento instantâneo e a estrutura populacional mais complexa observadas em *A. arabicum* e *A. somalense* indicam maior adequação dessas espécies como hospedeiros, enquanto *A. obesum* mostrou-se menos favorável ao crescimento populacional do ácaro.

Esses resultados reforçam o potencial de *T. gloveri* como praga emergente em *Adenium* spp. e evidenciam a necessidade de estratégias de monitoramento e manejo integrado que considerem não apenas a presença do ácaro, mas também diferenças na qualidade do hospedeiro, visando minimizar impactos econômicos e fitossanitários na produção e comercialização desse importante planta ornamental.

Referências

- BHASKAR, H.; MOHAN, S. M.; SREESHA, M. Establishment and spread of the invasive mite, *Tetranychus gloveri* Banks (Prostigmata: Tetranychidae) in Kerala, India. **Zoosymposia**, v. 22, p. 164, 2022.
- BEGON, M.; MORTIMER, M.; THOMPSON, D. J. **Population ecology**: a unified study of animals and plants. New York, John Wiley e Sons, 2009.
- BONDAR, G. Insectos damninhos e molestias dos feijões na Bahia. **Boletim do Laboratorio de Pathologia Vegetal**, Salvador, v. 9, 1930.
- BOLLAND, H. R.; GUTIERREZ, J.; FLECHTMANN C. H. W. **World catalogue of the spider mite family (Acari: Tetranychidae)**. Leiden: Brill Academic Publishers, 1998.
- BOUDREAUX, H. B. g *T. gloveri*. **Recent Advances in Acarology**, v. 2, p. 395-398, 1979.

BRIOZO, M. E. O.; SILVA, J. F.; FERRAZ, J. C. B.; SILVA, P. R. R.; MELO, J. W. da S.; FRANÇA, S. M. de. Biology and life table of *Tetranychus neocaledonicus* André (1933) (Acari: tetranychidae) in different hosts. **Systematic and Applied Acarology**, p. 497-507, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.11158/saa.28.3.7>.

COLOMBO, R. C.; FAVETTA, V.; MELO, T. R. de; FARIA, R. T. de; SILVA, M. A. de A. A. Potting media, growth and build-up of nutrients in container-grown desert. **Australian Journal of Crop Science**, v.10, p. 258-263, 2016.

DUARTE, M. E.; MENDONÇA, R. S.; NAVIA, D. Eriophyoid mites (Acariformes) from wild and cultivated Solanaceae plants from Brazil—new taxa, supplementary descriptions, a first report and new host plants of the tomato russet mite. **Systematic and Applied Acarology**, v. 25, n. 7, p. 1215-1246, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.11158/saa.25.7.6>.

FERRAZ, J. C. B.; SILVA, P. R. R.; AMARANES, M. P.; SANTOS, M. F. dos; MELO, J. W. da S.; LIMA, D. B. de; FRANÇA, S. M. de. *Oligonychus punicae* a pest of *Eucalyptus urophylla* in cultivation and potential new host species in Brazil. **International Journal of Acarology**, v. 45, n. 1-2, p. 75-78, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01647954.2018.1543349>.

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

FLECHTMANN, C. H. W.; MORAES, R. C. B. **Tetranychidae Database**. 2017. Disponível em: http://www.lea.esalq.usp.br/tetranychidae/edita_ssp.php. Acesso em: 23 maio 2023.

FLECHTMANN, C. H. W. **Description of species of *Tetranychus* Dufour 1832**. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 2019.

GOMES NETO, A. V., SILVA, P. R. R., MELO, J. W. S., MELO JÚNIOR, L. C. DE, & FRANÇA, S. M. DE. Biology and life table of *Tetranychus neocaledonicus* on lima bean. **International Journal of Acarology**, 43(8), 622–626. 2017. <https://doi.org/10.1080/01647954.2017.1377288>

GOMES NETO, A. V.; SILVA, J. D. C.; SANTOS, M. F. dos; MELO, J. W. da S.; FRANÇA, S. M. de. First record of mites associated with lima bean (*Phaseolus lunatus* L.). **Journal of Plant Protection Research**, v. 59, n. 3, 418-422, 2019. DOI: <https://doi.org/10.24425/jppr.2019.129752>.

HOSSAIN, M. Amzad. A review on *Adenium obesum*: a potential endemic medicinal plant in oman. **Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 7, n. 4, p. 559-563, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjbas.2018.06.008>.

IBRAFLOR. INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORICULTURA. **O mercado de flores no Brasil**. 2022. Disponível em: <https://www.ibraflor.com.br/numeros-setor>. Acesso em: 17 jan. 2023.

ISMAN, M. B.; GRIENEISEN, M. L. Botanical insecticide research: many publications, limited useful data. **Trends in Plant Science**, v. 19, n. 3, p. 140–145, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.11.005>.

JEPPSON, L. R.; KEIFER, H. H.; BAKER, E. W. **Mites Injurious to Economic Plants**. Berkeley: University of California Press, 1975.

KUNDUN, J.; SIMKHADA, R.; SOFKOVA-BOBCHEVA, S.; HE, X. Z. Host plant quality mediates dispersal, oviposition, and sex allocation in a *Tetranychus* spider mite. **Oecologia**, 207:183, 2025. <https://doi.org/10.1007/s00442-025-05824-y>

LOURENÇÃO, A. L.; MORAES, G. J.; PASSOS, F. A.; AMBROSANO, G. M. B.; SILVA, L. V. F. Resistência de morangueiros a *Tetranychus urticae* Koch (Acari: tetranychidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 29, n. 2, p. 339-346, jun. 2000. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0301-80592000000200016>

MORAES, G. J.; FLECHTMANN, C. H. W. **Ácaros de importância agrícola: conhecimento e identificação**. Piracicaba: FEALQ, 2008.

MUSHTAQ, H. M. S.; ALI, H. M. S.; KAMRAN, M.; ALATAWI, F. J. Effect of Different Host Plants on Life Type Characteristics of Three Spider Mite Pests (Acari: Prostigmata: Tetranychidae). **Animals**, v. 13, e3433, 2023. <https://doi.org/10.3390/ani13223433>

NASCIMENTO, R. N.; MACIEL, A. G. S. First occurrence of Tetranychidae mites in Desert Rose in Paraíba, Brazil. **Diversitas Journal**, Santana do Ipanema, v. 6, n. 4, p. 3757-3762, 2021.

PUSPITARINI, R. D.; FERNANDO, I.; RACHMAWATI, R.; HADI, M. S.; RIZALI, A. Host plant variability affects the development and reproduction of *Tetranychus urticae*. **International Journal of Acarology**, p. 1-13, 2021. <https://doi.org/10.1080/01647954.2021.1915377>.

SEEMAN, O. D.; BEARD, J. J. **Identification of exotic pest and Australian native and naturalised species of Tetranychus (Acari: Tetranychidae)**. Auckland: Magnolia Press, 2011.

SOUSA NETO, E. P.; SOUZA, I. V.; GUZZO, E. C.; MELO, J. W. S. Carnaúba (*Copernicia prunifera* (Miller) H. E. Moore uma nova hospedeira de *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae). **Entomological Communications**, v. 3, ec03045, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.37486/2675-1305.ec03045>.

STARK J. D.; TANIGOSHI, L.; BOUNFOUR, M.; ANTONELLI, A. Potencial reprodutivo: sua influência na suscetibilidade de uma espécie a pesticidas. **Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 37, p. 273-279. 1997.

TALUKDAR, T. Development of NaCl-tolerant line in an endangered ornamental, *Adenium multiflorum* Klotzsch through in vitro selection. **International Journal of Recent Scientific Research**, v.3, n.10, p. 812-821, 2012.

TIAGO NETO, L. J.; RODRIGUES, O. D.; TSAI, H. M.; ESTEVAM, J. T.; PEREIRA, J. M.; SELEGUINI, A. Ocorrência de insetos fitófagos em *Adenium obesum* (Forssk.) Roem. & Schult no estado de Goiás. **Agro@mbiente on-line**, Boa Vista, v. 11, n. 4, p. 379-384, 2017. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v11i4.4222

VALVERDE, P. L.; FORNONI, J.; NÚÑEZ FARFÁN, J. Defensive role of leaf trichomes in resistance to herbivorous insects in *Datura stramonium*. **Journal of Evolutionary Biology**, v. 14, n. 3, p. 424-432, 2001. DOI: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1420-9101.2001.00295.x>.

VÁSQUEZ, C.; COLMENÁREZ, Y.; MORAES, G. J. Life cycle of *Raoiella indica* (Acari: tenuipalpidae) on ornamental plants, mostly arecaceae. **Experimental and Applied Acarology**, v. 65, n. 2, p. 227-235, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10493-014-9858-z>.

3.2 Artigo 2 - Caracterização química e avaliação de efeitos letais e subletais dos óleos essenciais de *Zingiber officinale*, *Rosmarinus officinalis* e *Foeniculum vulgare* sobre *Tetranychus gloveri* (Acari: Tetranychidae)

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E AVALIAÇÃO DE EFEITOS LETAIS E SUBLETAIS DOS ÓLEOS ESSENCIAIS DE *Zingiber officinale*, *Rosmarinus officinalis* e *Foeniculum vulgare* SOBRE *Tetranychus gloveri* (Acari: Tetranychidae)

RESUMO

Tetranychus gloveri é um ácaro fitófago caracterizado por elevada capacidade reprodutiva e potencial de causar danos significativos a diferentes culturas agrícolas e ornamentais, o que torna necessária a adoção de estratégias de manejo sustentáveis e eficazes. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo caracterizar a composição química dos óleos essenciais de *Foeniculum vulgare*, *Rosmarinus officinalis* e *Zingiber officinale* e avaliar seus efeitos letais e subletais sobre *T. gloveri*. A composição química dos óleos essenciais foi determinada por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC/MS). Para avaliar os efeitos biológicos, foram conduzidos bioensaios de toxicidade residual sobre fêmeas adultas, efeito ovicida sobre ovos, impacto subletal no crescimento populacional e efeito repelente em concentrações subletais. Os resultados evidenciaram perfis químicos distintos entre os óleos essenciais, com predominância de (E)-anetol em *F. vulgare*, 1,8-cineole e camphor em *R. officinalis* e sesquiterpenos, especialmente α -zingiberene, em *Z. officinale*. O óleo de *Z. officinale* apresentou a maior toxicidade sobre fêmeas adultas, com CL_{50} de 12,97 $\mu\text{L/mL}$, seguido por *R. officinalis* (CL_{50} = 14,94 $\mu\text{L/mL}$), enquanto *F. vulgare* foi menos tóxico (CL_{50} = 24,91 $\mu\text{L/mL}$). No efeito ovicida, todos os óleos reduziram a viabilidade dos ovos na CL_{90} , com destaque para *R. officinalis*, que promoveu a maior redução relativa da eclosão (75%). Em termos subletais, *F. vulgare* promoveu a maior supressão do crescimento populacional. Nos ensaios de repelência, os três óleos exibiram elevado efeito comportamental, com percentuais de repelência superiores a 90%. Conclui-se que os óleos essenciais avaliados apresentam elevado potencial para o manejo de *T. gloveri*, atuando de forma integrada por meio de efeitos letais e subletais, configurando-se como ferramentas promissoras para o Manejo Integrado de Pragas.

Palavras-chave: Bioacaricida; óleos essenciais; *Tetranychus gloveri*; toxicidade, efeitos subletais.

ABSTRACT

Tetranychus gloveri is a phytophagous mite characterized by a high reproductive capacity and the potential to cause significant damage to a wide range of agricultural and ornamental crops, which highlights the need for sustainable and effective management strategies. In this context, this study aimed to characterize the chemical composition of the essential oils of *Foeniculum vulgare*, *Rosmarinus officinalis*, and *Zingiber officinale* and to evaluate their lethal and sublethal effects on *T. gloveri*. The chemical composition of the essential oils was determined by gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC/MS). To assess biological effects, bioassays were conducted to evaluate residual toxicity against adult females, ovicidal effects on eggs, sublethal impacts on population growth, and repellent activity at sublethal concentrations. The results revealed distinct chemical profiles among the essential oils, with a predominance of (E)-anethole in *F. vulgare*, 1,8-cineole and camphor in *R. officinalis*, and sesquiterpenes—particularly α -zingiberene—in *Z. officinale*. The oil of *Z. officinale* showed the highest toxicity against adult females, with an LC_{50} of 12.97 $\mu\text{L/mL}$, followed by *R. officinalis* ($LC_{50} = 14.94 \mu\text{L/mL}$), whereas *F. vulgare* was less toxic ($LC_{50} = 24.91 \mu\text{L/mL}$). Regarding ovicidal activity, all oils reduced egg viability at LC_{90} , with *R. officinalis* causing the greatest relative reduction in egg hatching. In terms of sublethal effects, *F. vulgare* promoted the greatest suppression of population growth. In repellency assays, all three oils exhibited strong behavioral effects, with repellency rates exceeding 90%. It is concluded that the evaluated essential oils have high potential for the management of *T. gloveri*, acting in an integrated manner through lethal and sublethal effects and representing promising tools for Integrated Pest Management.

Keywords: Bioacaricide; essential oils; *Tetranychus gloveri*; toxicity; sublethal effects.

3.2.1 Introdução

O ácaro *Tetranychus gloveri* Banks (Acari: Tetranychidae) tem emergido como uma praga de crescente importância em regiões tropicais, especialmente em sistemas agrícolas e ornamentais, onde causa danos diretos por sucção de seiva e indiretos por redução da área fotossintética e comprometimento estético das plantas. Relatos recentes indicam sua rápida adaptação a novos hospedeiros e ambientes, bem como dificuldades no controle químico convencional, associadas ao uso recorrente de acaricidas sintéticos (Mattupurath *et al.*, 2023;

Swathi *et al.*, 2025). Esse cenário tem levantado preocupações quanto ao desenvolvimento de resistência, impactos ambientais e riscos à saúde humana.

O controle de *Tetranychus* spp. baseia-se majoritariamente em produtos químicos sintéticos, cuja eficácia vem sendo progressivamente reduzida pela seleção de populações resistentes e pela ativação de sistemas enzimáticos de detoxificação, como carboxilesterases e monooxigenases do citocromo P450 (Mattupurath *et al.*, 2023). Além disso, o uso intensivo desses produtos pode afetar organismos não alvo, contaminar o ambiente e comprometer a sustentabilidade dos agroecossistemas. Assim, cresce a demanda por estratégias alternativas que conciliem eficiência no controle e menor impacto ambiental, em consonância com os princípios do Manejo Integrado de Pragas (MIP) (Isman, 2020; Pavela; Benelli, 2016).

Nesse contexto, os óleos essenciais (OEs) têm se destacado como ferramentas promissoras no manejo de pragas agrícolas, incluindo ácaros fitófagos, devido à sua biodegradabilidade, baixa persistência ambiental e ação em múltiplos alvos fisiológicos. Diversos estudos demonstram que os OEs podem causar toxicidade aguda por contato ou fumigação, além de efeitos subletais relevantes, como repelência, deterrência alimentar, redução da oviposição, prejuízos ao desenvolvimento e interferência em enzimas neurológicas e detoxificadoras, ressaltando que além da mortalidade direta, a avaliação dos efeitos subletais dos óleos essenciais tem recebido crescente atenção, uma vez que alterações na oviposição, no desenvolvimento pós-embriônico e no comportamento podem resultar em redução da taxa intrínseca de crescimento populacional, mesmo na ausência de mortalidade imediata (Vaglica *et al.*, 2022; Danna *et al.*, 2023; Karabörklü; Ayvaz, 2023; Sheasha *et al.*, 2023; Pei *et al.*, 2024; Rafya *et al.*, 2024; Wang *et al.*, 2024; Zhu *et al.*, 2024).

Entre as espécies vegetais aromáticas com potencial acaricida, *Foeniculum vulgare* Mill. (Apiaceae) tem sido amplamente investigada, apresentando atividade comprovada contra diferentes ácaros, como *Varroa destructor*, *Dermatophagoides* spp. e *Tetranychus urticae*, com efeitos atribuídos principalmente aos seus constituintes voláteis e fenólicos (Lee, 2004; Kutukoglu; Girişgin; Aydin, 2012; Amizadeh; Hejazi.; Saryazdi, 2013; Ebadollahi *et al.*, 2014). Da mesma forma, óleos essenciais de *Rosmarinus officinalis* L. (Lamiaceae) e *Zingiber officinale* Roscoe (Zingiberaceae) têm demonstrado toxicidade, repelência e outros efeitos subletais sobre ácaros, reforçando seu potencial como bioacaricidas (Pavela *et al.*, 2016; An; Tak, 2022; Maldonado *et al.*, 2025).

De modo geral, esses resultados reforçam o interesse global por biopesticidas, cuja participação no mercado de defensivos tende a crescer significativamente, impulsionada por inovações tecnológicas, como microencapsulação e nanoformulações, que visam aumentar a

estabilidade e a eficácia residual desses compostos (Isman, 2015, 2020). Diante desse cenário, o objetivo deste estudo foi avaliar a bioatividade dos óleos essenciais de *F. vulgare*, *R. officinalis* e *Z. officinale* sobre o ácaro *T. gloveri*, por meio da análise de seus efeitos letais e subletais, visando subsidiar o uso desses compostos como alternativas sustentáveis no manejo do ácaro.

3.2.2 Materiais e métodos

3.2.2.1 Local de estudo

A criação dos ácaros e os bioensaios foram realizados no Laboratório de Entomologia, localizado no Departamento de Fitotecnia, setor de Fitossanidade do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí - UFPI, *Campus* Universitário Ministro Petrônio Portella em Teresina-PI. As condições experimentais em câmara climática tipo BOD durante os bioensaios foram em temperatura de $25\pm 1^{\circ}\text{C}$, umidade relativa do ar de $70\pm 10\%$ e fotofase de 12h. As análises cromatográficas foram realizadas no Laboratório de Ecologia Química, Departamento de Química Fundamental da Universidade Federal de Pernambuco.

3.2.2.2 Óleos essenciais, análise cromatográfica, espectrometria de massas e identificação química dos óleos essenciais

Foram utilizados os óleos essenciais de *Foeniculum vulgare*, *Rosmarinus officinalis* e *Zingiber officinale*, adquiridos comercialmente junto à empresa Ferquima LTDA (São Paulo, Brasil) e extraídos por destilação a vapor das sementes, das folhas e das raízes, respectivamente.

A composição química dos óleos essenciais foi determinada por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS). As análises foram realizadas em um sistema Shimadzu QP2010 Plus (modo Scan – faixa de 40 a 650 u.m.) equipado com uma coluna capilar Rxi-5ms ($10\text{ m} \times 0,10\text{ mm} \times 0,10\text{ }\mu\text{m}$). O injetor operou em modo splitless a uma temperatura constante de 250°C . O programa de temperatura do forno iniciou em 40°C (mantido por 1 min), aumentou de 40°C para 320°C a uma taxa de $35^{\circ}\text{C}/\text{min}$ e foi mantido a 320°C por 1 min. Hélio foi utilizado como gás de arraste a uma vazão constante de $0,45\text{ mL}/\text{min}$. O espectrômetro de massas operou com energia de ionização de 70 eV, temperatura de interface de 250°C e temperatura da fonte de íons de 200°C . Os dados quantitativos foram obtidos

calculando as porcentagens relativas da área do pico nos cromatogramas, utilizando o método de normalização de área.

Para garantir o desempenho ideal do sistema e a atribuição precisa do índice de retenção linear (IRL) para cada composto, uma mistura padrão de alcanos (C7–C50, Sigma-Aldrich) foi analisada sob as mesmas condições cromatográficas. Uma alíquota de 1 µL desse padrão foi injetada e os tempos de retenção correspondentes foram utilizados como referências externas para o cálculo do IRL, juntamente com os dos compostos alvo.

Os valores do IRL foram calculados automaticamente utilizando o software GCMSolution, eliminando a necessidade de cálculos manuais com a equação de Van den Dool e Kratz. Esses valores foram então comparados com dados da literatura obtidos de colunas de polaridade semelhante à fase estacionária Rxi-5 ms. A identificação do composto foi baseada na comparação dos espectros de massa obtidos com espectros de referência do banco de dados de Adams (2009). Uma variação de ± 100 unidades de LRI foi considerada aceitável, equivalente à diferença de retenção esperada para um átomo de carbono adicional na série homóloga.

3.2.2.3 Criação de *T. gloveri*

A criação de *T. gloveri* foi estabelecida sobre plantas de feijão-de-porco, (*Canavalia ensiformes* L.) cultivadas em vasos com capacidade de 5L contendo terra misturada com húmus (3:1). Para manutenção da criação, plantas com 25 dias de idade foram infestadas com ovos, larvas, ninfas e adultos do ácaro. A criação estoque não foi exposta aos óleos essenciais e mantida sob a temperatura de 25 ± 1 °C, umidade relativa de 70 ± 10 % e fotofase de 12 horas em sala climatizada (Santana *et al.*, 2020).

3.2.2.4 Efeito letal dos óleos essenciais sobre fêmeas adultas dos ácaros

A toxicidade dos óleos essenciais a *T. gloveri* foi avaliada por meio de um bioensaio de contato residual. Discos foliares de feijão-de-porco (5,0 cm de diâmetro) foram imersos, sob agitação suave por 30 s, em soluções de óleo essencial ou na solução controle (água destilada com 2% de dimetilsulfóxido, DMSO). Bioensaios preliminares foram realizados visando estimar as concentrações definitivas, determinando os limites de mortalidade, sendo um limite

inferior (concentração que causa a morte de cerca de 10% dos ácaros) e um superior (concentração que causa a morte de cerca de 90% de ácaros) (Lopes *et al.*, 2022).

As concentrações definitivas para *F. vulgare* foram 15, 20, 25, 40 e 50 µL/mL; para *R. officinalis* foram: 15, 18, 20, 25 e 30 µL/mL; para *Z. officinale* foram 10, 15, 20, 25 e 30 µL/mL. Após secagem ao ar por 30 min, cada disco foi infestado com 10 fêmeas adultas (4–5 dias de idade) de *T. gloveri*.

O bioensaio seguiu um delineamento inteiramente casualizado, com 10 discos foliares por concentração (cada arena = uma placa de Petri, 90 × 15 mm; 10 fêmeas adultas/disco; total de 100 ácaros por concentração por ensaio). Todo o experimento foi conduzido em triplicatas, cada repetição compreendendo os mesmos discos foliares por concentração, a fim de considerar a variabilidade temporal e de diluição.

Nos testes os discos foliares foram posicionados com a face abaxial voltada para cima sobre papel filtro colocado sobre uma esponja saturada com água, no interior de placas de Petri plásticas. Um orifício central em cada tampa foi coberto com tecido tipo voil para permitir a troca gasosa. As placas foram mantidas em câmara climatizada a 25 ± 1 °C, $70 \pm 10\%$ de umidade relativa e fotoperíodo de 12 h. A mortalidade foi avaliada 48 h após a infestação; os ácaros foram considerados mortos quando não apresentaram movimento ao serem suavemente tocados com um pincel de cerdas finas.

3.2.2.5 Efeito letal de óleos essenciais sobre ovos de *T. gloveri*

Discos foliares de feijão-de-porco (*C. ensiformis*), medindo 5,0 cm de diâmetro, foram infestados com cinco fêmeas adultas de *T. gloveri* (4–5 dias de idade), as quais permaneceram para oviposição por 48 h. Após esse período, 20 ovos foram selecionados por disco e imersos nas concentrações CL₅₀ e CL₉₀ de cada óleo essencial (previamente determinadas no bioensaio de contato residual), além de um tratamento controle constituído por água destilada + DMSO. O procedimento seguiu a mesma metodologia utilizada para a avaliação do efeito letal sobre fêmeas adultas. Foram realizadas 10 repetições para cada concentração letal e para o controle. A viabilidade dos ovos foi avaliada diariamente por meio da contagem do número de larvas eclodidas, até a conclusão da eclosão.

3.2.2.6 Efeito subletal no crescimento populacional

A taxa instantânea de crescimento populacional (r_i) para as concentrações CL_{30} e CL_{20} (previamente determinadas no bioensaio de contato residual para fêmeas adultas) foi calculada para fêmeas adultas, seguindo a mesma metodologia utilizada no teste de efeito quanto ao preparo de soluções e quantidade de ácaros utilizados. Foram realizadas 10 repetições para cada tratamento, incluindo um grupo controle tratado com água destilada + DMSO. O cálculo foi baseado na equação sugerida por Walthall e Stark (1997): $r_i = [\ln(N_f/N_0)]/\Delta t$:

onde N_f = número final de ácaros;

N_0 = número inicial de ácaros;

Δt = número de dias durante os quais o ensaio foi conduzido.

O período total de avaliação foi de 10 dias após o início do experimento, durante os quais todos os estágios de desenvolvimento foram contabilizados (ovos, estágios imaturos móveis e adultos).

3.2.2.7 Efeito subletal de repelência

Os testes de repelência foram conduzidos utilizando arenas confeccionadas com placas de Petri plásticas (90 × 15 mm), contendo uma esponja umedecida com 1 cm de espessura, revestida com papel-filtro. As concentrações subletais utilizadas (CL_{30} e CL_{20}) foram previamente determinadas nas avaliações de toxicidade com fêmeas adultas.

Discos foliares de feijão-de-porco (5,0 cm de diâmetro) foram parcialmente imersos, com uma metade mergulhada na solução de óleo essencial (óleo essencial + DMSO) e a metade oposta em água destilada + DMSO (controle). A porção central do disco (nervura principal) não foi submersa em nenhuma das soluções, permanecendo, portanto, sem tratamento. Os ácaros foram liberados diretamente ao longo da nervura principal, garantindo que os indivíduos ocupassem inicialmente uma área neutra, livre de contato com as substâncias testadas. Essa configuração permitiu igualdade de oportunidade para que os ácaros se deslocassem tanto para a área tratada quanto para a área controle. A preparação das soluções e a infestação seguiram os mesmos protocolos do teste de toxicidade, com a introdução de 10 fêmeas adultas de *T. gloveri* (4–5 dias de idade) no centro de cada disco. O número de fêmeas presentes em cada zona de tratamento foi avaliado 48 h após a infestação.

Para avaliar o efeito repelente, o índice de repelência (IR) foi calculado utilizando a fórmula: $IR = 2G/(G + P)$, em que G representa o número de ácaros atraídos pelo tratamento e P indica o número de ácaros atraídos pelo controle. O critério para a avaliação da eficácia repelente do tratamento foi determinado pela média do índice de repelência (IR) e seu desvio-

padrão (DP). Quando a média do IR é inferior a $1 - DP$, o óleo é classificado como repelente; quando é superior a $1 + DP$, o óleo é classificado como atrativo; e quando se encontra entre $1 - DP$ e $1 + DP$, o óleo é classificado como neutro (Matos *et al.*, 2020). Cada tratamento foi avaliado com 10 repetições.

3.2.2.8 Análises estatísticas

Todos os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado, com a estrutura de repetições descrita nas subseções correspondentes de cada bioensaio.

Análises de Probit. As concentrações letais (CL_{50} e CL_{90}) e subletais (CL_{20} e CL_{30}) dos óleos essenciais foram estimadas por regressão Probit, utilizando o software ProbitCalc v1.1.0 (Barbosa, 2025). Os modelos empregaram respostas binomiais (número de indivíduos mortos, número de indivíduos expostos) e função de ligação Probit, tendo a concentração transformada em $\log_{10}$ como variável preditora. A mortalidade no controle foi $\leq 5\%$ em todos os ensaios; portanto, não foi necessária a correção de Abbott. O paralelismo das inclinações das curvas dose-resposta entre os óleos foi examinado; quando as inclinações não diferiram ($P > 0,05$), as potências foram comparadas diretamente; caso contrário, as estimativas de CL foram interpretadas dentro de cada óleo. As Razões de Toxicidade (RT) foram calculadas dividindo-se a CL_{50} e/ou CL_{90} do óleo menos tóxico pelo valor correspondente do óleo mais tóxico; as diferenças foram consideradas relevantes quando os limites fiduciais de 95% das estimativas de CL não se sobrepuaram.

Efeito ovicida e crescimento populacional. Para o efeito ovicida (viabilidade/eclosão de ovos) e a taxa instantânea de crescimento populacional, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As pressuposições do modelo foram verificadas a partir dos resíduos (teste de Shapiro–Wilk para normalidade e teste de Levene para homogeneidade de variâncias) e foram atendidas; assim, não houve necessidade de transformação dos dados. Os resultados foram apresentados como média $\pm$ erro padrão. Essas análises foram feitas através do software R.

Repelência. A repelência foi avaliada comparando-se o número de ácaros atraídos por cada tratamento por meio do teste do qui-quadrado (χ^2). As frequências esperadas atenderam aos requisitos para a aproximação do χ^2 , e os diagnósticos de resíduos/ajuste foram inspecionados para confirmar a validade do teste. As análises foram feitas usando o software R.

3.2.3 Resultados e Discussão

3.2.3.1 Caracterização química dos óleos essenciais

A composição química do óleo essencial de *F. vulgare* revelou um perfil dominado por compostos fenilpropanóides, com clara predominância do (E)-anetol, que respondeu por 77,86% da área total cromatográfica. Além disso, fenchone (12,67%) e α -pinene (2,05%) também se destacaram entre os compostos detectados, embora em proporções inferiores. Em conjunto, esses três constituintes majoritários definem de forma substancial o perfil químico do óleo essencial avaliado, correspondendo à maior fração da composição total identificada (98,50%).

Tabela 1. Composição química do óleo essencial de *F. vulgare*

Nº	Composto	IRC	IRL	Área (%)
1	α-Pinene	929	932	2,05
2	Camphene	942	946	0,13
3	β -Pinene	970	974	0,24
4	Myrcene	989	988	0,37
5	α -Phellandrene	999	1002	0,39
6	o-Cymene	1020	1022	0,22
7	Limonene	1023	1024	1,16
8	Cineole<1,8->	1026	1026	0,24
9	Terpinene	1054	1054	0,30
10	Fenchone	1083	1083	12,67
11	Camphor	1138	1141	0,31
12	Terpinen-4-ol	1173	1174	0,06
13	Methyl chavicol	1194	1195	1,90
14	Anis aldehyde	1251	1247	0,60
15	E-Anethole	1285	1282	77,86
Total				98,50

IRC= Índice de retenção calculado; IRL=Índice de retenção da Literatura. Fonte: Adams (2009).

Os resultados obtidos para a composição química do óleo essencial de *F. vulgare*, marcada pela predominância de (E)-anetol, seguido por fenchone e α -pinene, mostram elevada consonância com quimiotipos ricos em trans-anetol amplamente descrito na literatura, evidenciando a estabilidade química dessa espécie independentemente da origem geográfica. Em particular, Kalleli *et al.* (2019), ao avaliarem sementes de funcho (*F. vulgare*) da Tunísia (cultivar Djerba), relataram teores de 78,26% de trans-anetol e 10,64% de fenchone, valores muito próximos aos observados no presente estudo. De forma semelhante, Šunić *et al.* (2023), analisando sementes de funcho selvagem provenientes de Montenegro, encontraram proporções

de (E)-anetol (75,5%), fenchone (13,7%) e α -pineno (1,7%), reforçando a forte correspondência quantitativa entre os perfis químicos. Essa consistência também é corroborada pelos dados de Ghasemian *et al.* (2020), que reportaram teores de trans-anetol entre 78,47% e 78,68% e fenchone variando de 10,2% a 10,5% em sementes oriundas de diferentes províncias do Irã, indicando a manutenção desse quimiotipo em distintas condições edafoclimáticas. Ademais, o teor de α -pineno identificado neste trabalho (2,05%) encontra correspondência quase exata com o valor reportado por Abdellaoui *et al.* (2020) para funcho selvagem do Marrocos (2,01%), reforçando a robustez do perfil químico observado. Em conjunto, essas comparações sustentam que o óleo essencial analisado se enquadra de forma inequívoca no quimiotipo clássico rico em (E)-anetol, conferindo solidez à interpretação dos seus potenciais efeitos biológicos discutidos no presente trabalho.

A composição química do óleo essencial de *R. officinalis* foi caracterizada pelo predomínio de 1,8- cineole (52,15%), seguido por camphor (19,28%), α -pinene (12,55%) e β -pinene (9,40%), que, em conjunto, constituíram a maior fração do óleo analisado. Entre os sesquiterpenos, E-caryophyllene (3,64%) destacou-se como componente relevante. Esse conjunto de constituintes majoritários define um quimiotipo cineol-canforado típico da espécie, amplamente descrito para *R. officinalis*, e foi identificado com elevada confiabilidade, totalizando 99,93% da composição do óleo essencial.

Tabela 2. Composição química do óleo essencial de *R. officinalis*

Nº	Composto	IRC	IRL	Área (%)
1	α-Pinene	929	932	12,55
2	Camphene	943	946	0,46
3	β-Pinene	970	974	9,40
4	Myrcene	989	988	0,25
5	o-Cymene	1020	1022	0,32
6	<1,8-> Cineole	1026	1026	52,15
7	γ -Terpinene	1054	1054	0,09
8	Linalool	1098	1095	1,00
9	Camphor	1138	1141	19,28
10	α -Terpineol	1187	1186	0,25
11	E-Caryophyllene	1412	1417	3,64
TOTAL				99,93

IRC= Índice de retenção calculado; IRL=Índice de retenção da Literatura.

Fonte: Adams (2009).

A composição química do óleo essencial de *R. officinalis* (alecrim) analisado neste estudo foi caracterizada pelo predomínio de 1,8-cineole (52,15%) Resultado muito semelhante foi reportado para óleos essenciais de alecrim provenientes da Argélia (52,4%) e do Brasil

(52,2%), evidenciando forte convergência química com o perfil obtido neste trabalho (Elyemni *et al.*, 2022). Em contraste, o perfil químico aqui observado difere do descrito para amostras da Romênia e de Montenegro, onde o camphor é reportado como constituinte predominante, alcançando teores de até 40,03% e 31,9%, respectivamente, enquanto o 1,8-cineole permanece em níveis consideravelmente inferiores, não ultrapassando 16,16% nessas regiões (Ilić *et al.*, 2024; Bejenaru *et al.*, 2025). Esses resultados indicam a variabilidade química intraespecífica de *R. officinalis* e reforçam que fatores geográficos e ambientais exercem papel determinante na modulação do perfil químico do óleo essencial dessa planta, no entanto, sem comprometer a caracterização de um padrão cineol–canforado amplamente descrito para a espécie e que também foi observado no presente estudo.

A composição química do óleo essencial de *Z. officinale* foi caracterizada pelo predomínio de sesquiterpenos, com destaque para α -zingiberene (28,98%) como principal constituinte, seguido por β -Sesquiphellandrene (10,73%), β -Phellandrene (10,66%), β -Bisabolene (9,66%), Camphene (9,59%) e Curcumene <ar> (8,89%). Em conjunto, esses compostos majoritários definem o perfil químico do óleo essencial analisado, representando a maior fração da composição total identificada (97.94%).

Tabela 3. Composição química do óleo essencial de *Z. officinale*

Nº	Composto	IRC	IRL	Área (%)
1	Tricyclene	917	921	0,22
2	α -Pinene	928	932	3,07
3	Camphene	941	946	9,59
4	β -Pinene	969	974	0,48
5	Myrcene	988	988	2,02
6	δ -2-carene	999	1001	0,30
7	Octanal	1001	998	0,23
8	β-Phellandrene	1023	1025	10,66
9	Terpinolene	1083	1086	0,25
10	Linalool	1098	1095	0,35
11	Camphor	1138	1141	0,13
12	Camphene hydrate	1142	1145	0,09
13	isoborneol	1152	1155	0,07
14	Borneol	1160	1165	0,70
15	Rosefuran epoxide	1174	1173	0,47
16	α -Terpineol	1186	1186	0,92
17	Decanal	1203	1201	0,23
18	Neral	1239	1235	0,12
19	Geranial	1269	1264	0,51
20	Bornyl acetate	1282	1284	0,24
21	Undecanone<2->	1291	1293	0,23
22	δ -Elemene	1332	1335	0,11
23	Citronellyl acetate	1352	1350	0,08

24	Cyclososativene	1358	1369	0,29
25	α -Copaene	1370	1374	0,59
26	geranyl acetate	1381	1379	0,99
27	Elemene	1386	1389	0,87
28	Sesquithujene<7-epi->	1401	1390	0,28
29	E-Caryophyllene	1412	1417	0,11
30	γ -elemene	1428	1434	0,39
31	Guaiadiene <6,9>	1443	1442	0,09
32	Farnesene<(E)- β ->	1453	1454	0,86
33	γ -Murolene	1471	1478	0,48
34	Curcumene <ar>	1479	1479	8,89
35	δ -selinene	1487	1492	1,04
36	α-Zingiberene	1492	1493	28,98
37	β-Bisabolene	1505	1505	9,66
38	β-Sesquiphellandrene	1520	1521	10,73
39	E- γ -Bisabolene	1527	1592	0,38
40	Elemol	1545	1548	0,30
41	Germacrene B	1551	1559	0,49
42	E-Nerolidol	1561	1561	0,36
43	E-Sesquisabinene hydrate	1588	1577	0,26
44	Isolongifolan-7- α -ol	1610	1618	0,43
45	Cubenol<1-epi->	1627	1627	0,24
46	β -Eudesmol	1644	1649	0,16
Total				97,94

IRC= Índice de retenção calculado; IRL=Índice de retenção da Literatura.

Fonte: Adams (2009).

A composição química do óleo essencial de *Z. officinale* obtida neste estudo evidenciou o predomínio de sesquiterpenos, com α -zingiberene (28,98%) como principal constituinte, seguido por β -sesquiphellandrene (10,73%), padrão consistente com a literatura. O teor de α -zingiberene observado mostrou-se semelhante ao reportado por Oforma, Udourioh e Ojinnaka (2019), que identificaram 28,57% desse composto em gengibre estocado, além de situar-se dentro das faixas estabelecidas pela norma ISO 16928:2014 para gengibre originário da China (29–40%) e da África Ocidental (23–45%), conforme sintetizado por Mahboubi (2019). De modo semelhante, a concentração de β -sesquiphellandrene encontrada neste trabalho alinha-se aos valores descritos por Ivanović, Makoter e Razboršek (2021), que relataram 10,08%. Essas concordâncias reforçam a robustez do perfil químico identificado e indicam que as variações quantitativas observadas entre diferentes estudos são compatíveis com a variabilidade natural da espécie, geralmente atribuída a fatores geográficos, edafoclimáticos, genéticos e às condições de pós-colheita e extração.

3.2.3.2 Efeito letal dos óleos essenciais sobre fêmeas adultas dos ácaros

O óleo essencial de *Z. officinale* apresentou a menor CL_{50} (12,97 $\mu\text{L/mL}$), não tendo diferença na toxicidade para *R. officinalis* (CL_{50} 14,94 $\mu\text{L/mL}$) devido à sobreposição dos intervalos de confiança. Porém, ambos os óleos essenciais foram significativamente mais tóxicos que *F. vulgare* (CL_{50} 24,91 $\mu\text{L/mL}$), já que não houve sobreposição dos intervalos de confiança. Da mesma forma, para a CL_{90} , *Z. officinale* também demonstrou menor CL_{90} (40,10 $\mu\text{L/mL}$), não diferindo de *R. officinalis* (CL_{90} 43,96 $\mu\text{L/mL}$). No entanto, apenas o óleo de *Z. officinale* foi estatisticamente mais tóxico que *F. vulgare* (CL_{90} 67,52 $\mu\text{L/mL}$) (Tabela 4).

Tabela 4. Toxicidade dos óleos essenciais de *F. vulgare*, *R. officinalis* e *Zingiber officinale* sobre fêmeas adultas de *T. gloveri*

OE	N	GL	Inclinação ($\pm$ EP)	CL_{50} (IC95%)	CL_{90} (IC95%)	RT ₅₀	RT ₉₀	χ^2	P
<i>F. vulgare</i>	1500	3	2,9593 $\pm$ 0,3229	24,91 (22,61- 27,28)	67,52 (56,17- 88,77)	-	-	2,510	0,473
<i>R. officinalis</i>	1500	3	2,7345 $\pm$ 0,5658	14,94 (11,65- 16,92)	43,96 (34,76- 75,04)	1,67	1,54	0,986	0,804
<i>Z. officinale</i>	1500	3	2,6147 $\pm$ 0,3569	12,97 (10,97- 14,58)	40,10 (33,05- 55,08)	1,92	1,68	1,050	0,789

OE= óleo essencial; n = número de insetos usados no teste; GL = grau de liberdade; EP = erro padrão da média; CL = concentração letal ($\mu\text{L/mL}$); IC = intervalo de confiança; RT = razão de toxicidade; χ^2 = Qui-quadrado; P = probabilidade.

As razões de toxicidade indicaram que *Z. officinale* foi 1,92 a 1,68 vezes mais tóxico que *F. vulgare* considerando as concentrações letais CL_{50} e CL_{90} , respectivamente. Já *R. officinalis* foi 1,67 vezes mais tóxico que *F. vulgare* considerando apenas a CL_{50} . Esses resultados destacam o óleo de *Z. officinale* como o mais promissor para o controle de *T. gloveri*, seguido por *R. officinalis*, enquanto *F. vulgare* apresentou a menor eficácia entre os três avaliados.

As concentrações letais utilizadas nos ensaios de repelência e crescimento populacional foram de 12,94 $\mu\text{L/mL}$ (CL_{20}) e 16,56 $\mu\text{L/mL}$ (CL_{30}) para *F. vulgare*, 7,35 $\mu\text{L/mL}$ e 9,60 $\mu\text{L/mL}$ para *R. officinalis* e 6,18 $\mu\text{L/mL}$ e 8,17 $\mu\text{L/mL}$ para *Z. officinale*, respectivamente, destacando também este último óleo como o mais eficiente em menores concentrações.

A avaliação tridimensional das respostas de mortalidade confirma que o incremento das concentrações resulta em um aumento progressivo na mortalidade de *T. gloveri*, apresentando diferenças na inclinação das curvas entre os óleos essenciais. Portanto, o óleo essencial de *Z. officinale* demonstrou o efeito tóxico mais acentuado, alcançando altos índices de mortalidade

em concentrações relativamente baixas, seguido por *R. officinalis* e *F. vulgare*. A ilustração possibilita a identificação precisa das áreas de máxima eficiência e destaca, nesse sentido, a superioridade de *Z. officinale* no controle do ácaro, em conformidade com os valores de CL₅₀ e CL₉₀, bem como com as razões de toxicidade previamente estabelecidas (Figura 1).

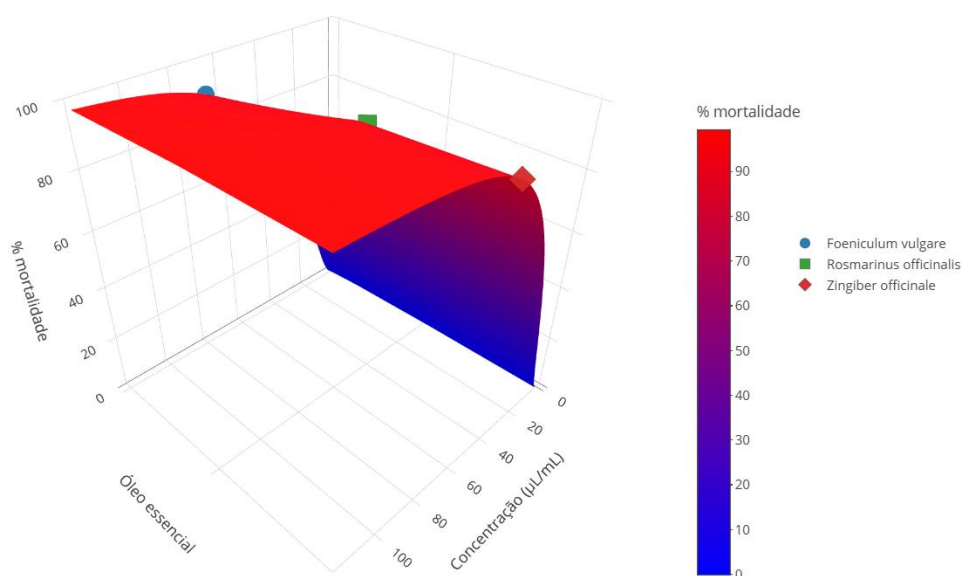


Figura 1. Superfície de resposta concentração–mortalidade de *T. gloveri* expostos aos óleos essenciais de *F. vulgare*, *R. officinalis* e *Z. officinale*. *Símbolos dos óleos essenciais posicionados aproximadamente na região da CL₉₀

Fonte: Autor.

Os resultados de toxicidade obtidos evidenciam diferenças consistentes entre os óleos essenciais avaliados, indicando que a eficácia acaricida está fortemente associada ao perfil químico dominante de cada espécie vegetal. De modo geral, o óleo essencial de *Z. officinale* destacou-se como o mais promissor, seguido por *R. officinalis* e *F. vulgare*. Esse padrão de toxicidade indicam a possibilidade de que óleos essenciais ricos em sesquiterpenos e monoterpenos oxigenados tendem a apresentar maior toxicidade contra ácaros fitófagos, em comparação àqueles dominados por fenólpropanóides.

A maior toxicidade apresentada pelo óleo essencial de *Z. officinale* pode ser atribuída à sua composição majoritariamente sesquiterpênica, especialmente pela elevada presença de α -zingiberene, β -sesquiphellandrene e β -bisabolene, compostos associados à atividade acaricida. Alguns estudos demonstram que o zingiberene atua por mecanismos neurofisiológicos e comportamentais, afetando a coordenação motora, a alimentação e a oviposição de ácaros da família Tetranychidae, além de promover efeitos físicos como desidratação e ruptura da cutícula

(Hikal *et al.*, 2017; An; Tak, 2022; An *et al.*, 2023; Zhu *et al.*, 2024; Vigad *et al.*, 2025). O zingiberene e β -sesquifelandrene, também atuam por mecanismos neurotóxicos semelhantes, interferindo em canais de sódio dependentes de voltagem (Rawat *et al.*, 2023). Esses mecanismos integrados podem explicar a elevada eficiência do óleo de *Z. officinale*, sendo, portanto, um óleo essencial com bom potencial para uso em estratégias de manejo sustentável do ácaro *T. gloveri*.

O óleo essencial de *R. officinalis*, por sua vez, apresentou toxicidade intermediária, resultado que pode também ser atrelado ao seu perfil químico rico em 1,8-cineole, camphor e α -pinene, todos compostos monoterpenoides. Esse comportamento também é consistente com o que foi observado por Silva *et al.* (2025) para *T. neocaledonicus*, quando óleos essenciais com elevada proporção de monoterpenos, como os de *Litsea cubeba* (Lour.) Pers., *Cinnamomum camphora* (L.) J. Presl e *Melaleuca alternifolia* (Maiden & Betcher) Cheek, apresentaram toxicidade intermediária no comparativo com produtos químicos sintéticos, acaricida a base de nim e compostos isolados. A literatura indica que esses monoterpenos podem atuar de forma sinérgica, interferindo na atividade de enzimas-chave do sistema nervoso dos ácaros, como a acetilcolinesterase, além de promover alterações oxidativas e estruturais no tegumento (Orhan *et al.*, 2008; Laborda *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2024). Diversos estudos confirmam a eficácia acaricida do óleo de *R. officinalis* contra espécies de Tetranychidae, reforçando seu potencial como alternativa segura aos acaricidas sintéticos (Miresmailli; Isman, 2006; Aissaoui *et al.*, 2021; Lopes *et al.*, 2022).

Em contraste, o óleo essencial de *F. vulgare* apresentou menor toxicidade, possivelmente relacionada à predominância de (E)-anetol, um composto altamente volátil, cuja ação inseticida e acaricida tende a ser mais associada à fumigação e repelência do que à toxicidade letal por contato. Estudos demonstram que o óleo de funcho apresenta atividade biológica relevante contra insetos e ácaros, incluindo espécies de importância agrícola e veterinária, porém geralmente com menor persistência e potência letal quando comparado a óleos ricos em terpenoides menos voláteis (Borotová *et al.*, 2021; Bava *et al.*, 2022). Além disso, o (E)-anetol é amplamente reconhecido por suas propriedades farmacológicas e baixa toxicidade a organismos não alvo, o que pode auxiliar também a explicar sua menor eficácia na toxicidade por efeito residual (Stefanini *et al.*, 2006; Tognolini *et al.*, 2007).

3.2.3.3 Efeito letal de óleos essenciais sobre ovos de *T. gloveri*

Em relação a viabilidade dos ovos de *T. gloveri* após a aplicação da CL₅₀, não houve diferença estatística significativa ($P>0,05$) entre os tratamentos com os óleos essenciais (*F. vulgare* $71,5 \pm 9,0\%$, *R. officinalis* $74,5 \pm 9,3\%$, *Z. officinale* $65,5 \pm 11,1\%$) e a testemunha ($96,0 \pm 1,8\%$). No entanto, observa-se uma discreta diminuição em comparação ao tratamento testemunha (Figura 2A). Já na CL₉₀, houve uma queda acentuada da viabilidade de ovos do ácaro quando tratados com todos os óleos essenciais (*F. vulgare* $38,5 \pm 12,1\%$, *R. officinalis* $24,0 \pm 5,4\%$, *Z. officinale* $49,0 \pm 10,3\%$) em comparação à testemunha ($96,0 \pm 1,8\%$) (Figura 2B). Em termos de magnitude do efeito na CL₉₀, o destaque foi para *R. officinalis*, que apresentou a maior redução de viabilidade em comparação à testemunha: aproximadamente 75% de redução relativa.

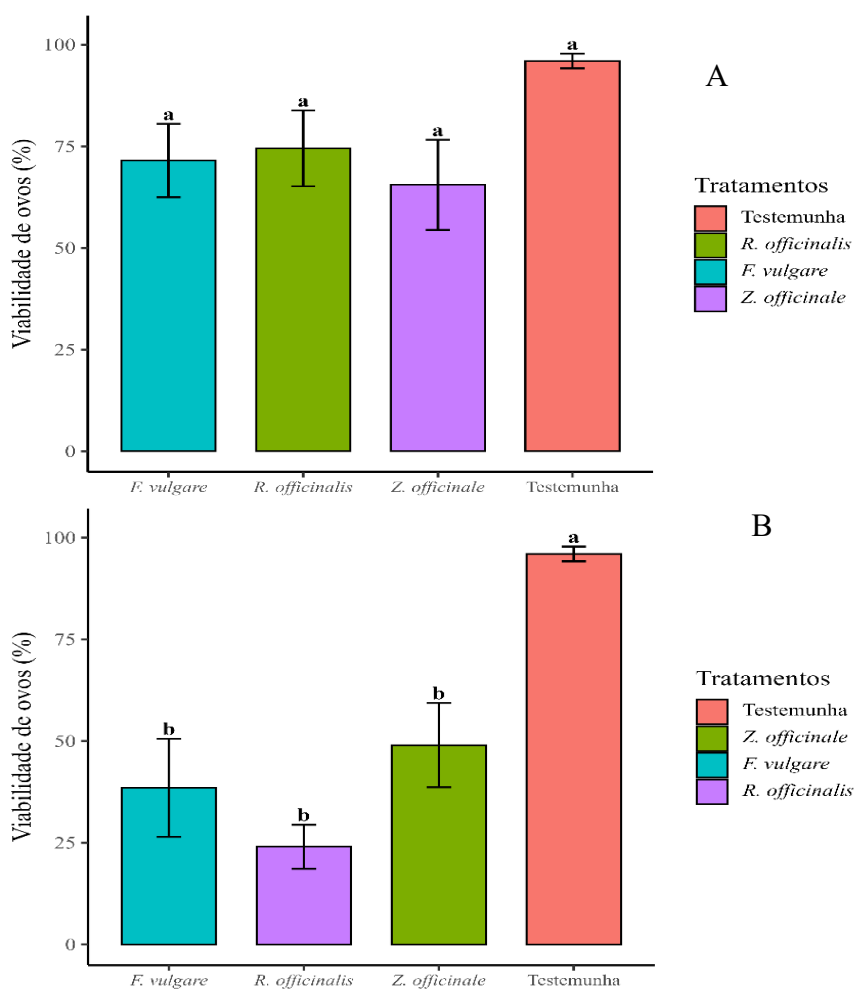


Figura 2. Viabilidade de ovos (%) de *T. gloveri* tratados com a CL₅₀ (A) e CL₉₀ dos óleos essenciais de *F. vulgare*, *R. officinalis* e *Z. officinale*. Barras seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P>0,05)

Fonte: Autor.

Para *Tetranychus urticae*, foi demonstrado que óleos ricos em monoterpenos oxigenados, como 1,8-cineol, timol e linalol, apresentam mortalidades superiores a 80 %, com CL₅₀ inferiores a 1,5 µL/mL e efeitos letais e subletais significativos sobre fecundidade e eclodibilidade (Sheasha *et al.*, 2023). O óleo de *R. officinalis* testado no presente estudo foi predominantemente composto de monoterpenoides, no entanto, *F. vulgare* e *Z. officinale* também apresentaram esses compostos, mas em menor escala. Desse modo, ainda que não haja diferença estatística quanto a viabilidade de ovos, houve uma tendência matemática a redução da eclodibilidade.

Em estudo semelhante com outra espécie de tetraniquídeo, Ferreira *et al.* (2026) também verificaram redução expressiva da taxa de eclosão em *O. punicae*, chegando a 79,25% de inviabilidade. Silva *et al.* (2025) destacaram que os óleos essenciais apresentaram maior efeito

ovicida do que os acaricidas sintéticos, sugerindo que compostos voláteis são particularmente eficientes em estágios iniciais do ciclo biológico dos tetraniquídeos. Assim, o impacto observado sobre os ovos de *T. gloveri* tende a confirmar também o potencial disruptivo desses óleos no sucesso reprodutivo e na dinâmica populacional da praga.

3.2.3.4 Efeito subletal no crescimento populacional

Em relação a taxa de crescimento instantânea (r_i), todos os óleos estudados reduziram o crescimento populacional de *T. gloveri* quando aplicada a CL₂₀, com *F. vulgare* apresentando a menor taxa instantânea (r_i) (0,272), sendo esta, 47,1% menor em relação à testemunha (0,514). Enquanto *R. officinalis* (0,450) reduziu a r_i em 12,5% e *Z. officinale* (0,461) em 10,4%. exibiram reduções intermediárias (Figura 3A).

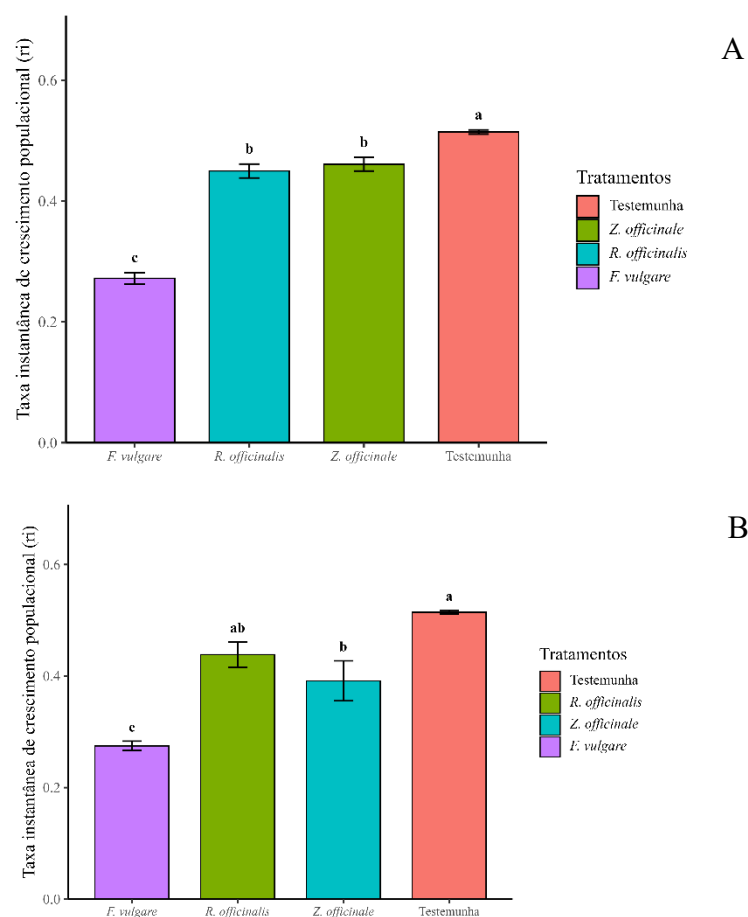


Figura 3. Taxa instantânea de crescimento populacional de *T. gloveri* tratados com a CL₂₀ (A) e CL₃₀ dos óleos essenciais de *F. vulgare*, *R. officinalis* e *Z. officinale*. Barras seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$)

Fonte: Autor.

Na CL₃₀, *F. vulgare* permaneceu como o tratamento mais inibidor do crescimento populacional (0,275), com uma redução de 46,6% em relação à testemunha. O óleo essencial de *Z. officinale* (0,391) também diferiu estatisticamente da testemunha ($P < 0,05$), reduzindo em 23,9% o crescimento populacional do ácaro. Enquanto *R. officinalis* (0,439) não diferiu estatisticamente da testemunha ($P > 0,05$) (Figura 3B).

A redução da taxa de crescimento instantâneo (r_i) observada neste estudo evidencia que os óleos essenciais exercem efeitos subletais relevantes sobre a dinâmica populacional de *T. gloveri*. Em ambas as concentrações avaliadas (CL₂₀ e CL₃₀), *F. vulgare* apresentou o maior efeito inibidor sobre o crescimento populacional, indicando que seus compostos atuam de forma consistente sobre parâmetros demográficos do ácaro. Esse comportamento é coerente com estudos que demonstram que óleos essenciais podem reduzir a r_i por meio de efeitos combinados sobre fecundidade, viabilidade dos descendentes e sobrevivência das fases imaturas, mesmo quando a mortalidade direta é limitada (Briozo *et al.*, 2023; Sousa *et al.*, 2025, Martins *et al.*, 2025, Ferreira *et al.*, 2026). Nesse contexto, a composição química do óleo de *F. vulgare*, dominada pelo fenilpropanoide (E)-anethole, pode ter desempenhado papel central na resposta subletal observada, uma vez que pelos resultados obtidos esse composto apresentou menor toxicidade em adultos, mas elevada capacidade de interferir em processos fisiológicos associados ao desenvolvimento embrionário e à viabilidade das fases imaturas comparável aos demais óleos essenciais testados, especialmente na CL₃₀.

Apesar de *Z. officinale* ter sido o óleo mais tóxico, a redução significativa do crescimento populacional ocorreu apenas em CL₃₀ (23,9%), e não em CL₂₀. Esse comportamento indica resposta dose-dependente e é semelhante ao observado por Ferreira *et al.* (2025), que também registraram supressão em *T. neocaledonicus* somente na CL₃₀. Esse resultado sugere que, para óleos essenciais com elevada toxicidade aguda, os efeitos subletais sobre a dinâmica populacional tornam-se expressivos somente quando a concentração atinge um limiar capaz de gerar impactos cumulativos, que é o caso de *Z. officinale*, onde essa resposta está mais relacionada ao aumento progressivo da concentração e à linearidade da resposta de mortalidade observada em fêmeas adultas de *T. gloveri*, nesse caso referindo-se ao aumento da CL₂₀ para a CL₃₀.

Por outro lado, o óleo essencial de *R. officinalis* apresentou efeito mais discreto sobre a r_i , sobretudo na CL₃₀, apesar de não haver diferido significativamente da testemunha. Esses resultados indicam que, para algumas espécies e composições químicas (nesse caso predominantemente de monoterpenoides), os impactos demográficos podem ser menos pronunciados do que os efeitos letais ou comportamentais.

De modo geral o padrão subletal referente ao efeito no crescimento populacional encontrado para os óleos testados e em especial para *F. vulgare*, reforça que a eficácia de produtos naturais não deve ser interpretada exclusivamente com base na mortalidade imediata, mas também à luz de seus impactos subletais cumulativos, especialmente aqueles mediados por compostos que afetam o sucesso reprodutivo e o desenvolvimento das gerações subsequentes.

3.2.3.5 Efeito subletal de repelência

O índice de repelência (IR) dos óleos essenciais de *F. vulgare*, *R. officinalis* e *Z. officinale* sobre *T. gloveri* apresentou perfis de ações distintos conforme a concentração testada. Na CL₂₀, o IR variou de 0,09 a 0,22, valores classificados como repelentes, indicando efeito consistente de afastamento sobre *T. gloveri* (Figura 4A). Já na CL₃₀, o IR variou de 0,11 a 0,23, caracterizado também como repelente (Figura 4B), evidenciando que ambas as concentrações afetam o comportamento de escolha do ácaro.

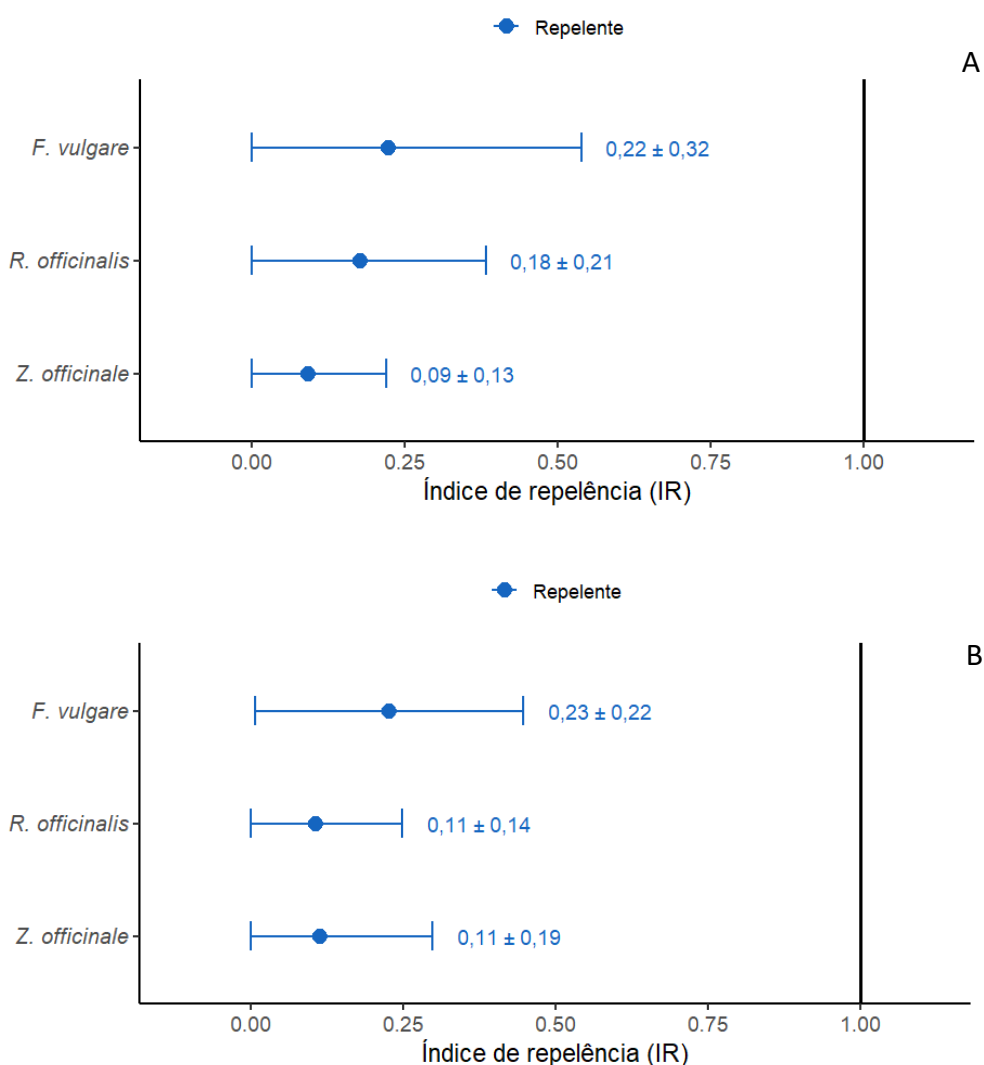


Figura 4. Índice de repelência (IR) de *T. gloveri* em relação aos óleos essenciais de *F. vulgare*, *R. officinalis* e *Z. officinale* concentrações letais CL₂₀ (A) e CL₃₀ (B)

Fonte: Autor.

Nas duas concentrações testadas (CL₂₀ e CL₃₀), observou-se que o número médio de ácaros atraídos no lado tratado foi significativamente ($P < 0,05$) menor em comparação ao lado não tratado para todos os óleos avaliados (Figuras 5A e B). Para *F. vulgare*, as médias de ácaros atraídos foram de 1,0 e 0,9 para CL₂₀ e CL₃₀, respectivamente, enquanto para *R. officinalis* foram de 0,8 (CL₂₀) e 0,4 (CL₃₀), e para *Z. officinale* de 0,4 (CL₂₀) e 0,5 (CL₃₀). Esses valores refletem forte repelência ao ácaro quando os discos foliares foram tratados com os óleos essenciais, com percentuais variando de 90% a 96%.

Os percentuais de repelência obtidos (90% a 96%) são considerados elevados e superam os índices registrados para o óleo de *D. riparius*, que variaram entre 62% e 76% nas mesmas concentrações subletais para *O. punicae* (Ferreira *et al.*, 2025). E assemelham-se à eficácia de óleos altamente potentes, como o de *Mesosphaerum suaveolens*, que atingiu 91,3% de repelência em *T. urticae* na CL₂₀ (Martins *et al.*, 2025), e o de *J. virginiana*, que alcançou 98% em CL₃₀ aplicada sobre *T. neocaledonicus* (Sousa *et al.*, 2025). Essa alta capacidade de repelência é fundamental para o Manejo Integrado de Pragas (MIP), pois, ao impedir a colonização inicial e reduzir o tempo de oviposição no campo, os óleos essenciais minimizam os danos econômicos e a dispersão do ácaro nas plantas.

A forte repelência de óleos essenciais sobre outro tetraniquídeo fitófago, *T. neocaledonicus* observados por Silva *et al.* (2025) foi atribuída principalmente a monoterpenos como 1,8-cineol e γ -terpinene. No presente trabalho, o óleo essencial de *R. officinalis* também pode ter seu efeito repelente atribuído aos monoterpenoides com predominância na sua composição química.

Esses resultados indicam que, independentemente do aumento da concentração, os óleos essenciais foram altamente eficientes em reduzir a atratividade do hospedeiro, limitando a permanência do ácaro sobre os tecidos tratados. E de forma geral, evidenciam um efeito consistente na modulação comportamental de *T. gloveri*, com ligeiro aumento da eficiência de repelência na concentração CL₃₀, especialmente para *R. officinalis* (96%) e para *Z. officinale* (96%) na CL₂₀.

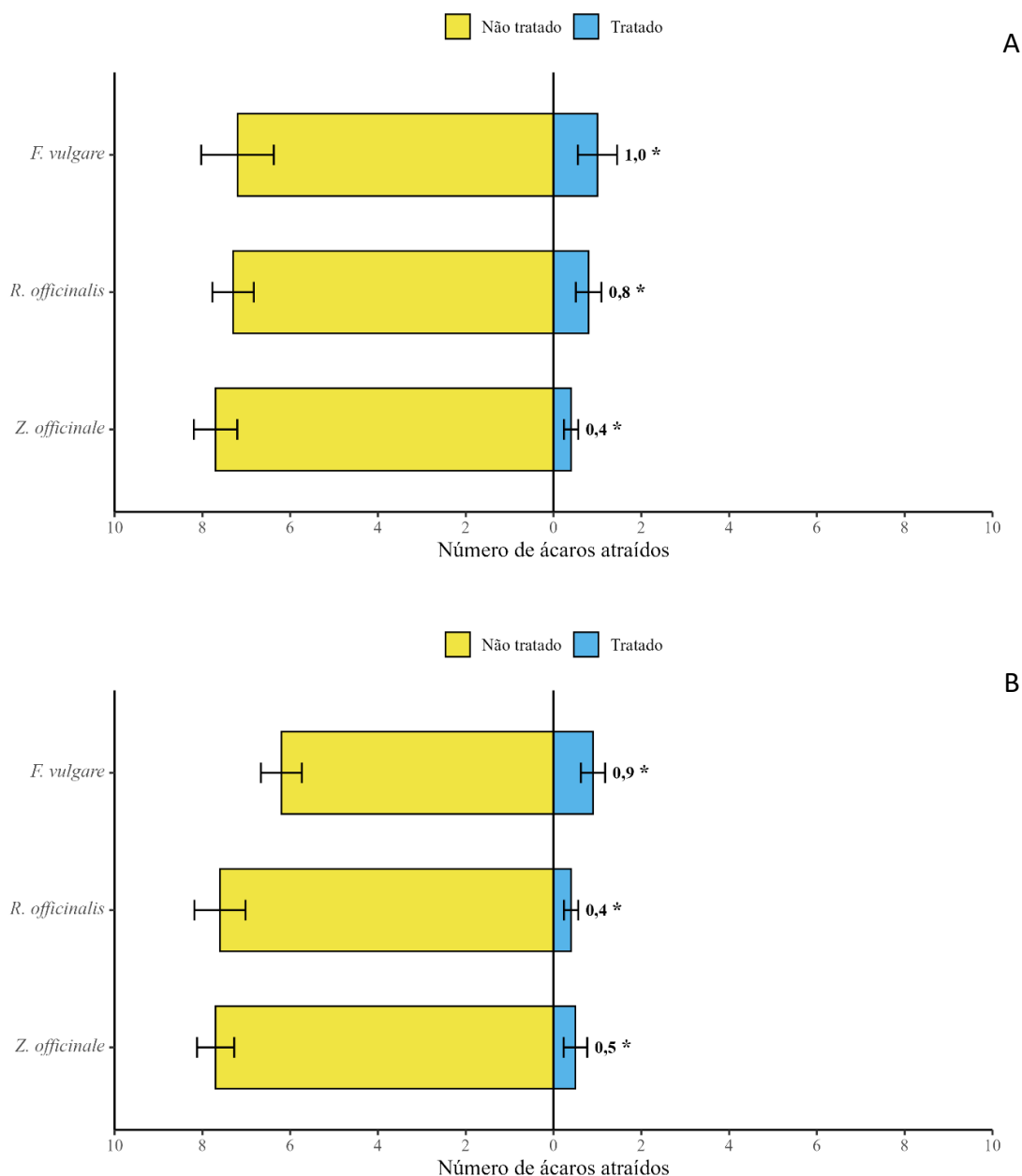


Figura 5. Número de ácaros *T. gloveri* atraídos (média $\pm$ EP) após a aplicação dos óleos essenciais de *F. vulgare*, *R. officinalis* e *Z. officinale* nas concentrações letais CL₂₀ (A) e CL₃₀ (B). *Significativo pelo teste de Qui-quadrado ($P < 0,05$)

Fonte: Autor.

O conjunto de evidências obtidas neste trabalho aponta perspectivas para a aplicação prática dos óleos essenciais avaliados também em condições de campo. A atuação combinada de efeitos letais e subletais reforça o potencial desses produtos naturais como bioacaricidas, com destaque para o óleo essencial de *Z. officinale*, que reuniu elevada toxicidade, efeito ovicida relevante e forte repelência. A caracterização química detalhada revelou a predominância de α -zingiberene e outros sesquiterpenos, indicando que tanto o óleo integral

quanto seus constituintes majoritários podem servir como base para o desenvolvimento de protótipos de formulações mais estáveis, seguras e eficientes, como emulsões, microencapsulados ou sistemas de liberação controlada.

Nesse contexto, a possibilidade de explorar isolados majoritários ou misturas padronizadas abre caminho para produtos com maior reprodutibilidade e persistência, minimizando limitações associadas à volatilidade dos óleos essenciais. Assim, os resultados aqui discutidos não apenas consolidam o potencial bioacaricida desses óleos, mas também fornecem subsídios técnicos e científicos para o avanço de soluções sustentáveis no Manejo Integrado de Pragas, alinhadas à valorização de insumos de origem vegetal.

3.2.4 Conclusões

Os óleos essenciais avaliados apresentam elevada relevância biológica no manejo de *T. gloveri*, uma vez que suas composições químicas distintas se refletem em múltiplos modos de ação sobre o ácaro, abrangendo efeitos letais e subletais.

Dentre os óleos essenciais estudados, destaca-se o óleo de *Z. officinale* como o mais promissor para aplicações no manejo de *T. gloveri*, por reunir elevada toxicidade sobre fêmeas adultas, efeito ovicida expressivo em concentrações mais altas e intensa ação repelente em concentrações subletais. Essa atuação integrada, associada a um perfil químico rico em sesquiterpenos bioativos, confere ao óleo de *Z. officinale* capacidade de interferir simultaneamente na sobrevivência, no comportamento e na dinâmica populacional de *T. gloveri*.

Referências

ABDELLAOUI, M.; BOUHLALI, E. D. T.; DEROUICH, M.; EL-RHAFFARI, L. Essential oil and chemical composition of wild and cultivated fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.): A comparative study. **South African Journal of Botany**, v. 135, p. 93-100, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2020.09.004>.

AISSAOUI, A. B.; EL AMRAN, A.; ZANTAR, S.; ANNAZ, H. Toxicity of *Rosmarinus officinalis* Essential Oil to the Pest *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) and its Predator *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henroit (Acari: Phytoseiidae). **International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research**, v. 5, n. 1, p. 01-16, 2021.

ADAMS, R. P. **Identification of essential oil components by gas chromatography quadrupole mass spectroscopy**. Carol Stream: Allured Publishing Corporation, 2009.

AMIZADEH, M.; HEJAZI, M. J.; SARYAZDI, G. A. Fumigant toxicity of some essential oils on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **International Journal of Acarology**, v. 39, p. 285–289, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1080/01647954.2013.777782>.

AN, H.; TAK, J-H. Miticidal and repellent activity of thirty essential oils and their synergistic effects with vanillin against *Tetranychus urticae* Koch. **Industrial Crops and Products**, v. 13, n. 8, p. 699, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114872>.

AN, H. *et al.* Acaricidal and behavioral effects of *Zingiber officinale* essential oil on two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) Koch. **Journal of Pest Science**, v. 96, p. 1483–1494, 2023.

BARBOSA, D. R. S. ProbitCalc (v1.1.0). Software. Zenodo, 2025.

BAVA, R. *et al.* Phytochemical profile of *Foeniculum vulgare* subsp. *piperitum* essential oils and evaluation of acaricidal efficacy against *Varroa destructor*. **Veterinary Sciences**, v. 9, art. 684, 2022.

BEJENARU, L. E. *et al.* Seasonal Variations in Chemical Composition and Antibacterial and Antioxidant Activities of *Rosmarinus officinalis* L. Essential Oil from Southwestern Romania. **Applied Sciences**, v. 15, n. 681, p. 1-19, 2025.

BOROTOVÁ, P. *et al.* Biological activity of essential oil from *Foeniculum vulgare*. **Acta Horticulturae et Regiotecturae**, v. 24, p. 148–152, 2021.

BRIOZO, M. E. O.; SILVA, J. F.; FERRAZ, J. C. B.; SILVA, P. R. R.; MELO, J. W. da S.; FRANÇA, S. M. de. Biology and life table of *Tetranychus neocaledonicus* André (1933) (Acari: tetranychidae) in different hosts. **Systematic and Applied Acarology**, p. 497-507, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.11158/saa.28.3.7>.

DANNA, C.; MALASPINA, P.; CORNARA, L.; SMERIGLIO, A.; TROMBETTA, D.; FEO, V. de; VANIN, S. Eucalyptus essential oils in pest control: A review of chemical composition and applications against insects and mites. **Crop Protection**, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106319>

ELYEMNI, M. *et al.* Chemical Composition and Antimicrobial Activity of Essential Oil of Wild and Cultivated *Rosmarinus Officinalis* from Two Moroccan Localities. **Journal of Ecological Engineering**, v. 23, n. 3, p. 214-222, 2022.

FERREIRA, M. C. *et al.* Bioactivity of essential oils of *Dizygostemon riparius* (Plantaginaceae) on *Tetranychus neocaledonicus* (Acari: Tetranychidae). **Phytoparasitica**, v. 53, n. 54, 2025.

FERREIRA, A. C. *et al.* Chemical composition and acaricidal activity of essential oils from *Alpinia zerumbet*, *Bixa orellana*, *Mesosphaerum suaveolens* and *Syzygium cumini* against *Oligonychus punicae* on clonal seedlings of *Eucalyptus grandis*. **Crop Protection**, v. 199, e107412, 2026. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2025.107412>.

EBADOLLAHI, A.; SENDI, J. J.; ALIAKBAR, A.; RAZMJOU, J. Chemical Composition and Acaricidal Effects of Essential Oils of *Foeniculum vulgare* Mill. (Apiaceae) and *Lavandula angustifolia* Mill. (Lamiaceae). **Psyche: A Journal of Entomology**, v. 2014, p. 1-6, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/424078>.

GHASEMIAN, A.; AL-MARZOQI, A.; MOSTAFAVI, S. K.; ALGHANIMI, Y. K.; TEIMOURI, M. Chemical Composition and Antimicrobial and Cytotoxic Activities of *Foeniculum vulgare* Mill Essential Oils. **Journal of Gastrointestinal Cancer**, v. 51, n. 1, p. 260-266, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12029-019-00241-w>.

HIKAL, Wafaa M.; BAESHEN, Rowida S.; AHL, Hussein A.H. Said-Al. Botanical insecticide as simple extractives for pest control. **Cogent Biology**, v. 3, n. 1, e1404274, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/23312025.2017.1404274>.

ILIĆ, Z. S.; STANOJEVIĆ, L.; MILENKOVIĆ, L.; FUNIĆ, L.; MILENKOVIĆ, A.; STANOJEVIĆ, J.; CVETKOVIĆ, D. Chemical Profiling of Essential Oils from Main Culinary Plants—Bay (*Laurus nobilis* L.) and Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) from Montenegro. **Horticulturae**, v. 10, n. 1249, p. 1-13, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/horticulturae10121249>.

ISMAN, M. B. A renaissance for botanical insecticides? **Pest Management Science**, v. 71, p. 1587-1590, 2015.

ISMAN, M. B. Botanical insecticides in the twenty-first century—fulfilling their promise? **Annual Review of Entomology**, v. 65, p. 11.1–11.17, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025010>

IVANOVIĆ, M.; MAKOTER, K.; RAZBORŠEK, M. I. Comparative Study of Chemical Composition and Antioxidant Activity of Essential Oils and Crude Extracts of Four Characteristic Zingiberaceae Herbs. **Plants**, v. 10, n. 3, 501, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10030501>.

KALLELI, F.; REBEY, I. B.; WANNES, W. A.; BOUGHALLEB, F.; HAMMAMI, M.; TOUNSI, M. S.; M'HAMDI, M. Chemical composition and antioxidant potential of essential oil and methanol extract from Tunisian and French fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) seeds. **Journal of Food Biochemistry**, v. 43, n. 8, e12935, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/jfbc.12935>.

KARABÖRKLÜ, S.; AYVAZ, A. A comprehensive review of effective essential oil components in stored-product pest management. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 130, p. 449–481, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41348-023-00712-0>.

KÜTÜKOĞLU, F.; GİRİŞGİN, A. O.; AYDIN, L. Varroacidal efficacies of essential oils extracted from *Lavandula officinalis*, *Foeniculum vulgare* and *Laurus nobilis* in honeybee colonies. **Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences**, v. 36, p. 554–559, 2012. DOI: <https://doi.org/10.3906/vet-1104-12>.

LABORDA, R.; MANZANO, I.; GAMÓN, M.; GAVIDIA, I.; PÉREZ-BERMÚDEZ, P.; BOLUDA, R. Effects of *Rosmarinus officinalis* and *Salvia officinalis* essential oils on

Tetranychus urticae Koch (Acari: tetranychidae). **Industrial Crops and Products**, v. 48, p. 106-110, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.011>.

LEE, H. S. Acaricidal activity of constituents identified in *Foeniculum vulgare* fruit oil against *Dermatophagoides* spp. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p. 2887–2889, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf049631t>.

LOPES, R. P.; PARREIRA, L. A.; VENANCIO, A. N.; SANTOS, M. F. C.; MENINI, L. Chemical characterization and evaluation of acaricidal potential of rosemary essential oil and its main compound α -pinene on the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. **Natural Product Research**, v. 37, n. 17, p. 2940-2944, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/14786419.2022.2137799>.

MAHBOUBI, M. *Zingiber officinale* Rosc. essential oil, a review on its composition and bioactivity. **Clinical Phytoscience**, v. 5, n. 6, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40816-018-0097-4>.

MALDONADO, H.; MENDOZA, D.; GARAVITO, G.; LIZARAZO, M.; ESCAF, L.; EGEE, E. Actividad demodocida in vitro de aceites esenciales de *Alpinia officinarum*, *Zingiber officinale* y *Eruca sativa*. **Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas**, v. 24, n. 2, p. 273–287, 2025. DOI: <https://doi.org/10.37360/blacpma.25.24.2.20>.

MARTINS, H. P. F. *et al.* Multitarget Acaricidal Activity of Essential Oils from *Alpinia zerumbet* and *Mesosphaerum suaveolens* Against *Tetranychus urticae*. **Insects**, v. 16, 1119, 2025.

MATOS, C. H. C. *et al.* Métodos para avaliação da repelência de óleos essenciais sobre artrópodes-praga. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 15, n. 2, p. 77–85, 2020.

MATTUPURATH, S.; BHASKAR, H.; PATHROSE, B.; ATHIKURISSI, S. Susceptibility to acaricides and detoxifying enzyme activity in *Tetranychus gloveri* Banks (Acari: Tetranychidae) populations from India. **International Journal of Acarology**, v. 49, n. 2, p. 105–111, 2023. DOI: 10.1080/01647954.2023.2195865.

MIRESMAILLI, S.; ISMAN, M. B. Efficacy and Persistence of Rosemary Oil as an Acaricide Against Twospotted Spider Mite (Acari: Tetranychidae) on Greenhouse Tomato. **Journal of Economic Entomology**, v. 99, n. 6, p. 2015-2023, 2006.

OFORMA, C. C.; UDOURIOH, G. A.; OJINNAKA, C. M. Characterization of Essential Oils and Fatty Acids Composition of Stored Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). **Journal of Applied Sciences and Environmental Management**, v. 23, n. 12, p. 2231-2238, 2019. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/jasem.v23i12.22>.

ORHAN, I.; ASLAN, S.; KARTAL, M.; ŞENER, B.; BAŞER, K. Hüsnü Can. Inhibitory effect of Turkish *Rosmarinus officinalis* L. on acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase enzymes. **Food Chemistry**, v. 108, n. 2, p. 663-668, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.023>.

PAVELA, R.; BENELLI, G. Essential Oils as Ecofriendly Biopesticides? Challenges and Constraints. **Trends in Plant Science**, v. 21, n. 12, p. 1000-1007, 2016.

PAVELA, R.; STEPANYCHEVA, E.; SHCHENIKOVA, A.; CHERMENSKAYA, T.; PETROVA, M. Essential oils as prospective fumigants against *Tetranychus urticae* Koch. **Industrial Crops and Products**, v. 94, p. 755-761, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.050>.

PEI, T. *et al.* Chemical composition of five Lamiaceae essential oils and their insecticidal and phytotoxic activity. **Plants**, v. 13, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13162204>.

RAFYA, M.; ZEHHAR, N.; HAFIDI, A.; BENKHALTI, F. Review of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil, hydrosol, and residues analysis: composition, bioactivities, and valorizations. **Industrial Crops & Products**, v. 221, p. 119392, 2024.

RAWAT, A.; KHOLIYA, S.; CHAUHAN, A.; VENKATESHA, K. T.; KUMAR, D.; UPADHYAY, R. K.; PADALIA, R. C. Chemical variability on *Zingiber zerumbet* (L.) Roscoe ex Sm. essential oil with respect to different comminution methods. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 106, p. 104574, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bse.2022.104574>.

SANTANA, M. F. de; OLIVEIRA, J. V. de; BREDÁ, M. O.; BARBOSA, D. R. e S.; ESTEVES FILHO, A. B.; OLIVEIRA, C. M. de. Host preference, acaricides effects and population growth of *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: tarsonemidae) on white and colored cotton cultivars. **Pest Management Science**, v. 77, n. 1, p. 217-223, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ps.6010>.

SILVA, Y. N. M. *et al.* Acaricidal potential of essential oils, isolated compounds, and synthetic products against *Tetranychus neocaledonicus* André (1933) (Acari: Tetranychidae) on lima bean (*Phaseolus lunatus* L.). **Systematic & Applied Acarology**, v. 30, n. 10, p. 1824–1845, 2025. DOI: <https://doi.org/10.11158/saa.30.10.9>.

SHEASHA, A.; HOSNY, A. E.; KERATUM, A.; ABDEL RHMAN, H.; AL-HARBI, N. A.; AL-QAHTANI, S. M.; ABDELAAL, K. Efficacy of Some Plant Essential Oils Against two Spotted Spider Mite *Tetranychus urticae* under Laboratory Conditions. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 32, n. 4, p. 3291-3298, 2023. <http://dx.doi.org/10.15244/pjoes/162615>.

SOUSA, A. C. S. *et al.* Sustainable control of *Tetranychus neocaledonicus* André (1933) (Acari: Tetranychidae) on lima bean through essential oils. **Crop Protection**, v. 195, p. 107266, 2025. DOI: [10.1016/j.cropro.2025.107266](https://doi.org/10.1016/j.cropro.2025.107266).

ŠUNIĆ, L. *et al.* Comparison of the Essential Oil Content, Constituents and Antioxidant Activity from Different Plant Parts during Development Stages of Wild Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). **Horticulturae**, v. 9, n. 364, 2023.

STEFANINI, M. B. *et al.* Essential oil constituents of different organs of fennel (*Foeniculum vulgare* var. *vulgare*). **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 8, p. 193–198, 2006.

- SWATHI, P.; BHASKAR, H.; PATHROSE, B.; SUBRAHMANIAN, S. M. Assessing the susceptibility and acaricide resistance in *Tetranychus gloveri* (Acari: tetranychidae). **International Journal of Acarology**, v. 51, n. 3, p. 183-188, 2025. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01647954.2025.2475176>.
- TOGNOLINI, M.; BALLABENI, V.; BERTONI, S.; BRUNI, R.; IMPICCIATORE, M.; BAROCELLI, E. Protective effect of *Foeniculum vulgare* essential oil and anethole in an experimental model of thrombosis. **Pharmacological Research**, v. 56, n. 3, p. 254-260, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.phrs.2007.07.002>.
- VAGLICA, A.; PERI, E.; BADALAMENTI, N.; ILARDI, V.; BRUNO, M.; GUARINO, S. Chemical Composition and Evaluation of Insecticidal Activity of *Seseli bocconeii* Essential Oils against Stored Products Pests. **Plants**, [S.L.], v. 11, n. 22, e3047, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/plants11223047>.
- WANG, L.; JING, S.; WANG, S.; XING, Z.; QU, J.; WANG, X. Chemical Composition, Larvicidal and Ovicidal Activities, and Enzyme Inhibition Capacity of *Thymus serpyllum* Essential Oils Against *Spodoptera litura* (Fabricius). **Plants**, v. 13, n. 23, p. 3315, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/plants13233315>.
- ZHANG, L.; TENG, Q.; GUO, J.; ZOU, M.; XUE, Q.; ZHAO, J.; LI, Y. Efficacy and underlying mechanisms of the essential oil derived from *Rosmarinus officinalis* against *Aleuroglyphus ovatus* (Acari: acaridae). **International Journal of Acarology**, v. 50, n. 3, p. 209-221, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01647954.2024.2311668>.
- ZHU, Y.; WU, T.; HU, Q.; HE, W.; ZHENG, Y.; XIE, Y.; RAO, Q.; LIU, X. Plant Essential Oils: dual action of toxicity and egg-laying inhibition on *tetranychus urticae* (acari). **Plants**, v. 13, n. 6, e763, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/plants13060763>.

REFERÊNCIAS

- ABD ELLAOUI, A.; BOUSSELMI, M.; ALLOUANI, H.; CHENENI, F.; ABDELKEFI, A. Chemical composition and biological activities of *Foeniculum vulgare* essential oil. **Journal of Essential Oil Research**, v. 33, n. 6, p. 600–608, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.15034>.
- AN, H.; TAK, J-H. Miticidal and repellent activity of thirty essential oils and their synergistic effects with vanillin against *Tetranychus urticae* Koch. **Industrial Crops and Products**, v. 13, n. 8, p. 699, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114872>
- BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D.; IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils – A review. **Food And Chemical Toxicology**, Exeter, v. 46, n. 2, p. 446-475, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>.
- BRIOZO, M. E. O.; SILVA, J. F.; FERRAZ, J. C. B.; SILVA, P. R. R.; MELO, J. W. da S.; FRANÇA, S. M. de. Biology and life table of *Tetranychus neocaledonicus* André (1933) (Acari: tetranychidae) in different hosts. **Systematic and Applied Acarology**, p. 497-507, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.11158/saa.28.3.7>.
- DEVASIA, J.; RAMANI, N. Predator potential and prey stage preference of *Neoseiulus longispinosus* (Acari: Phytoseiidae) to life stages of *Tetranychus urticae* and *T. macfarlanei* (Acari: Tetranychidae). **Acarologia**, v. 63, n. 3, p. 658-664, 2023. DOI: <https://doi.org/10.24349/cq41-j4t2>.
- EBADOLLAHI, A.; SENDI, J. J. Chemical composition and acaricidal effect of essential oil from *Foeniculum vulgare* Mill. against *Tetranychus urticae* Koch. **Psyche**, v. 2014, p. 1–5, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/738450>.
- FERREIRA, A. C. *et al.* Chemical composition and acaricidal activity of essential oils from *Alpinia zerumbet*, *Bixa orellana*, *Mesosphaerum suaveolens* and *Syzygium cumini* against *Oligonychus punicae* on clonal seedlings of *Eucalyptus grandis*. **Crop Protection**, v. 199, e107412, 2026. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2025.107412>.
- GOMES NETO, A. V.; SILVA, J. D. C.; SANTOS, M. F. dos; MELO, J. W. da S.; FRANÇA, S. M. de. First record of mites associated with lima bean (*Phaseolus lunatus* L.). **Journal of Plant Protection Research**, v. 59, n. 3, 418-422, 2019. DOI: <https://doi.org/10.24425/jppr.2019.129752>.
- GUPTA, I.; SINGH, R.; MUTHUSAMY, S.; SHARMA, M.; GREWAL, K.; SINGH, H. P.; BATISH, D. Plant essential oils as biopesticides: applications, mechanisms, innovations, and constraints. **Plants**, v. 12, n. 16, art. 2916, 2023. DOI: 10.3390/plants12162916.
- HAN, J.; KIM, S. I.; CHOI, B. R.; LEE, S. G.; AHN, Y. J. Fumigant toxicity of lemon eucalyptus oil constituents to acaricide-susceptible and resistant *Tetranychus urticae*. **Pest Management Science**, v. 67, p. 1583–1588, 2011. DOI: 10.1002/ps.2216.
- HELLE, W.; SABELIS, M. W. **Spider Mites: their biology, natural enemies and control**. v. 1. Amsterdam: Elsevier, 1985.

ISMAN, M. B. Botanical insecticides in the twenty-first century-fulfilling their promise? **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 65, p. 233-249, 2020. DOI: 0.1146/annurev-ento-011019-025010

ISMAN, M. B. Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection*, v. 19, n. 8–10, p. 603–608, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00079-X](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00079-X)

ISMAN, M. B.; GRIENEISEN, M. L. Botanical insecticide research: many publications, limited useful data. **Trends in Plant Science**, v. 19, n. 3, p. 140–145, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.11.005>

IVASE, T. J.; NYAKUMA, B. B.; OGENYI, B. U.; BALOGUN, A. D.; HASSAN, M. N. Current status, challenges, and prospects of biopesticide utilization in Nigeria. **Acta Universitatis Sapientiae, Agriculture and Environment**, n. 9, v. 1, p. 95-106, 2017. DOI: 10.1515/ausae-2017-0009

JEPPSON, L. R.; KEIFER, H. H.; BAKER, E. W. **Mites Injurious to Economic Plants**. Berkeley: University of California Press, 1975.

KAUR, P.; KAUR, A.; KAUR, S.; ARORA, R. Chemical composition and biological activities of *Zingiber officinale* Roscoe essential oil: a review. **Frontiers in Nutrition**, v. 9, 1043175, 2022. DOI: 10.3389/fnut.2022.1043175.

KOUL, O.; WALIA, S.; DHALIWAL, G. S. Essential oils as green pesticides: potential and constraints. In: KOUL, O.; DHALIWAL, G. S. (eds.). **Phytochemical Biopesticides**. New York: Springer, 2008. p. 63-84.

LÓPEZ, M. D.; PASCUAL-VILLALOBOS, M. J. Mode of inhibition of acetylcholinesterase by monoterpenoids and implications for pest control. **Industrial Crops and Products**, v. 31, n. 2, p. 284–288, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.11.005>.

MARTINS, H. P. F. *et al.* Multitarget acaricidal activity of essential oils from *Alpinia zerumbet* and *Mesosphaerum suaveolens* Against *Tetranychus urticae*. **Insects**, v. 16, n. 11, p. 1119, 2025. DOI: 10.3390/insects16111119.

MATTUPURATH, S.; BHASKAR, H.; PATHROSE, B.; ATHIKURISSI, S. Susceptibility to acaricides and detoxifying enzyme activity in *Tetranychus gloveri* Banks (Acari: Tetranychidae) populations from India. **International Journal of Acarology**, v. 49, n. 2, p. 105–111, 2023. DOI: 10.1080/01647954.2023.2195865.

MIGEON, A.; DORKELD, F. **Spider Mites Web**: a comprehensive database for the Tetranychidae. [2025]. Disponível em: <https://www1.montpellier.inrae.fr/CBGP/spmweb>. Acesso em: 15 nov. 2025.

MORAES, G. J.; BARROS, R.; OLIVEIRA, D. C. Atualização taxonômica e distribuição de espécies do gênero *Tetranychus* Koch (Acari: Tetranychidae) no Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 64, n. 4, p. 1-10, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rbe.2020.101007>

MORAES, G. J.; FLECHTMANN, C. H. W. **Manual de Acarologia**: ácaros de importância agrícola. 2. ed. Curitiba: Editora UFPR, 2024.

MORAES, G. J.; FLECHTMANN, C. H. W. **Ácaros de importância agrícola: conhecimento e identificação**. Piracicaba: FEALQ, 2008.

NASEEM, S.; KHAN, I.; AHMED, F.; BILAL, M.; MALIK, A.; IMRAN, H. Insecticidal and physiological impacts of trans-anethole on pest arthropods. **Journal of Applied Entomology**, v. 146, n. 1, p. 118–126, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/jen.12945>

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

PAVELA, R. Insecticidal properties of several essential oils on the house fly (*Musca domestica* L.). **Phytotherapy Research**, London, v. 22, n. 2, p. 274–278, 2008. DOI: 10.1002/ptr.2300.

PAVELA, R. Essential oils for the development of eco-friendly mosquito larvicides: a review. **Industrial Crops and Products**, v. 76, p. 174–187, 2015. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.06.050.

PAVELA, R. History, presence and perspective of using plant extracts as commercial botanical insecticides and farm products for protection against insects – a review. **Plant Protection Science**, v. 52, n. 4, p. 229–241, 2016. DOI: 10.17221/31/2016-PPS.

PAVELA, R.; BENELLI, G. Essential oils as ecofriendly biopesticides? Challenges and constraints. **Trends in Plant Science**, Kidlington, v. 21, n. 12, p. 1000–1017, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.10.005>

RAFYA, M.; ZEHHAR, N.; HAFIDI, A.; BENKHALTI, F. Review of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil, hydrosol, and residues analysis: composition, bioactivities, and valorization. **Industrial Crops and Products**, v. 221, p. 119392, 2024. DOI: 10.1016/j.indcrop.2024.119392.

REGNAULT-ROGER, C.; VINCENT, C.; ARNASON, J. T. Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. **Annual Review of Entomology**, v. 57, p. 405–424, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120710-100554>

SAMY, A. M.; EL-GENDY, A. A. E.-R.; HANAFY, M. S.; EL-ANSARY, M. A. S. Essential oils as eco-friendly acaricides: chemical characterization and activity of *Foeniculum vulgare* against Tetranychus species. **Industrial Crops and Products**, v. 205, 117450, 2024.

SATO, M. E.; VERONEZ, B.; STOCCO, R. S. M.; QUEIROZ, M. C. V.; GALLEGOS, R. Spiromesifen resistance in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae): Selection, stability, and monitoring. **Crop Protection**, v. 89, p. 278–283, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.08.003>

SHEASHA, A.; HOSNY, A. E.; KERATUM, A.; ABDELRHMAN, H.; AL-HARBI, N. A.; AL-QAHTANI, S. M.; ABDELAAL, K. Efficacy of Some Plant Essential Oils Against two Spotted Spider Mite *Tetranychus urticae* under Laboratory Conditions. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 32, n. 4, p. 3291-3298, 2023. <http://dx.doi.org/10.15244/pjoes/162615>.

SILVA, Y. N. M. *et al.* Acaricidal potential of essential oils, isolated compounds, and synthetic products against *Tetranychus neocaledonicus* André (1933) (Acari: Tetranychidae) on lima bean (*Phaseolus lunatus* L.). **Systematic & Applied Acarology**, v. 30, n. 10, p. 1824–1845, 2025. DOI: <https://doi.org/10.11158/saa.30.10.9>.

SINGH, S.; PURI, S.; SOHAL, S. K. Alternatives to chemical pesticides: current trends and future implications. In: SHARMA, S.; KUMAR, V.; ZHENG, B. (ed.). **Pesticides in the Environment: impact, assessment, and remediation**. Amsterdam: Elsevier, 2024. p. 307-324. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99427-9.00003-3>.

SOUSA, A. C. S. *et al.* Sustainable control of *Tetranychus neocaledonicus* André (1933) (Acari: Tetranychidae) on lima bean through essential oils. **Crop Protection**, v. 195, p. 107266, 2025. DOI: [10.1016/j.cropro.2025.107266](https://doi.org/10.1016/j.cropro.2025.107266).

SUSURLUK, H. Potential use of essential oils from *Origanum vulgare* and *Syzygium aromaticum* to control *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) on two host plant species. **PeerJ**, v. 11, e14475, 2023. DOI: [10.7717/peerj.14475](https://doi.org/10.7717/peerj.14475).

TAK, J.-H.; ISMAN, M. B. Acaricidal and repellent activity of plant essential oil-derived terpenes and the effect of binary mixtures against *Tetranychus urticae* Koch (Acari: tetranychidae). **Industrial Crops and Products**, v. 108, p. 786-792, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.003>.

VAN LEEUWEN, T.; VONTAS, J.; TSAGKARAKOU, A.; DERMAUW, W.; TIRRY, L. Acaricide resistance mechanisms in the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* and other mites: a review. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 40, p. 563-572, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibmb.2010.05.008>.

VAN LEEUWEN, T.; TIRRY, L.; YAMAMOTO, A.; NAUEN, R.; DERMAUW, W. The economic importance of acaricides in the control of spider mites. *Pest Management Science*, v. 71, p. 1–13, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.12.009>

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