



**MARCUS EUGÊNIO OLIVEIRA BRIOZO**

**EFEITOS LETAIS E SUBLETAIS DE PRODUTOS NATURAIS  
SOBRE *Tetranychus neocaledonicus* ANDRÉ (1933)  
(ACARI:TETRANYCHIDAE)**

**TERESINA – PI**

**2021**

**MARCUS EUGÊNIO OLIVEIRA BRIOZO**

**EFEITOS LETAIS E SUBLETAIS DE PRODUTOS NATURAIS SOBRE  
*Tetranychus neocaledonicus* ANDRÉ (1933) (ACARI:TETRANYCHIDAE)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura Tropical, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientadora

Prof. Dra. Solange Maria de França

Coorientador

Prof. Dr. Douglas Rafael e Silva Barbosa

**TERESINA – PI**

**2021**

FICHA CATALOGRÁFICA  
Universidade Federal do Piauí  
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias  
Serviço de Processos Técnicos

**B858e** Briozo, Marcus Eugênio Oliveira  
Efeitos letais e subletais de produtos naturais sobre *Tetranychus neocaledonicus* André (1933) (Acari :Tetranychidae) / Marcus Eugênio Oliveira  
Briozo. -- 2021.  
81 f.: il.

Dissertação ( Mestrado ) – Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciência Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Teresina, 2021.  
“Orientador: Profª. Drª. Solange Maria de França”  
“Coorientador:Prof. Dr. Douglas Rafael e Silva Barbosa”

1.Toxicidade 2. *Azadiractina* 3. Óleos essenciais 4. Tabela de vida e fertilidade 5. Tetraquimídeos I. França, Solange Maria II. Barbosa, Douglas Rafael e Silva III.Título.

**CDD 632.95**

MARCUS EUGÊNIO OLIVEIRA BRIOZO

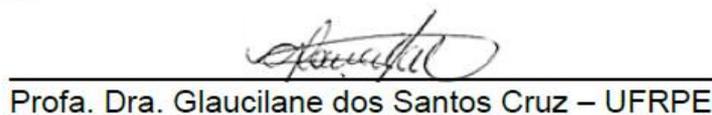
**EFEITOS LETAIS E SUBLETAIS DE PRODUTOS NATURAIS SOBRE  
*Tetranychus neocaledonicus* ANDRÉ (1933) (ACARI:TETRANYCHIDAE)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Agricultura Tropical, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

APROVADA em 26 de julho de 2021

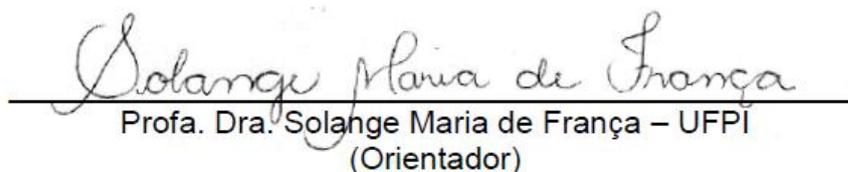
Comissão Julgadora:

  
Prof. Dr. José Wagner da Silva Melo – UFC

  
Profa. Dra. Glaucilane dos Santos Cruz – UFRPE

  
Prof. Dr. Douglas Rafael e Silva Barbosa – IFMA

  
Profa. Dra. Vaneska Barbosa Monteiro – UFRPE

  
Profa. Dra. Solange Maria de França – UFPI  
(Orientador)

TERESINA – PI

2021

Aos meus pais Oscar Briozo do Nascimento Filho e Denise Maria Oliveira de Moraes Briozo por todo amor, apoio e compreensão ao longo de toda minha árdua jornada até aqui.

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

A Deus por me conceder o dom da vida e a força necessária para nunca desistir!

A Universidade Federal do Piauí juntamente ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Agricultura Tropical pela oportunidade de experienciar uma pós-graduação strictu sensu, apesar das inúmeras dificuldades, faria tudo novamente.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nivel Superior-CAPES pela concessão da bolsa que foi de fundamental importância durante boa parte do Mestrado.

Aos meus pais Oscar Briozo do Nascimento Filho e Denise Maria Oliveira de Moraes Briozo por todo amor, apoio e compreensão ao longo de toda minha jornada até aqui. Ao meu irmão João Filipe Oliveira Briozo por ser exemplo de companheirismo e perseverança. Vocês são minhas fontes de inspiração e força para seguir em frente!

Aos meus avós Lidivina Oliveira de Moraes e Francisco Onofre de Moraes pelo amor diário, pelos momentos de descontração, por todo o apoio ao longo de toda minha vida, pela compreensão sem nem entender ao certo, Obrigado!

A minha vizinha Maria Fontenele (In memoriam) que intercede por mim lá do céu ao lado da sagrada família.

Ao meu professor, inspiração e amigo Rodrigo Correa (In memoriam), por todas as oportunidades e obstinação em mim depositada, lhe darei muito orgulho daqui de baixo meu amigo, um dia nos encontraremos e tudo será como sempre foi!!

A minha orientadora Solange Maria de França por ter me acolhido em 2015 e desde então ser exemplo de dedicação, amizade, profissionalismo e fé que tanto me inspira. Obrigado pelos puxões de orelha! Ao meu coorientador Douglas Rafael e Silva Barbosa por toda a dedicação ao meu projeto, pela amizade, pela paciência e pela serenidade ao sempre dizer "Vai dá certo".

Aos amigos do Laboratório de Entomologia que deixavam o dia-a-dia mais tranquilo e engraçado, em especial os 'família grande': Neto, Silvestre, Claudio e Felipe!!

Aos colegas de turma que ingressaram em 2019.1, sem vocês teria sido impossível, dos 'perrengues' aos momentos de descontração, vocês são incríveis!!

Aos amigos do tempo de escola, do EJC, da música, da vida que foram essenciais nos momentos de descontração, sem vocês não teria força para erguer a cabeça nas manhãs de segunda.

A todos, MUITO OBRIGADO!

“Cuide das coisas de Deus e Ele cuidará das suas...”

Santa Catarina de Sena

## RESUMO GERAL

O uso de produtos naturais no controle de ácaros vem se destacando no manejo de *Tetranychus* spp. nas mais diversas culturas. Entretanto, ainda são poucos os estudos dos efeitos letais e subletais de produtos naturais sobre *Tetranychus neocaledonicus* André (Acari: Tetranychidae). Objetivou-se avaliar os efeitos subletais de produtos à base de nim, Azamax<sup>®</sup> e NIM-I-GO<sup>®</sup>, na história de vida de *T. neocaledonicus*. Bem como os efeitos letais e subletais dos óleos essenciais de *Illicium verum* Hook f., *Eugenia caryophyllus* (Sprengel) Büllock et Harrison e *Cymbopogon flexuosus* Stapf. A toxicidade dos óleos essenciais foi testada sobre fêmeas adultas de *T. neocaledonicus*. As concentrações letais e razão de toxicidade foram calculadas para cada óleo. O efeito repelente foi verificado através de teste com chance de escolha, onde foram utilizados discos foliares tratados com os óleos essenciais com as CL<sub>50</sub> e CL<sub>95</sub> e discos foliares não tratados. Calculou-se o índice de repelência, a porcentagem de repelência dos produtos e o índice de preferência para oviposição. O efeito ovicida foi determinado a partir da aplicação das CL<sub>50</sub> e CL<sub>95</sub> dos óleos essenciais. Para avaliar os efeitos dos produtos naturais na história de vida, utilizou-se a concentração subletal CL<sub>30</sub> dos produtos à base de nim e dos óleos essenciais. As fêmeas sobreviventes foram individualizadas e avaliadas diariamente, tanto o número de fêmeas sobreviventes e ovos depositados. Foram calculadas a sobrevivência média, fecundidade bruta e líquida e os parâmetros de tabela de vida a partir do tratamento com a CL<sub>30</sub>. No tratamento com os óleos essenciais, os mesmos parâmetros também foram avaliados para a segunda geração. A sobrevivência e longevidade das fêmeas de *T. neocaledonicus* não foram afetadas pelos produtos à base de nim, entretanto a fecundidade foi afetada em determinados períodos. Na tabela de vida e fertilidade, a taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ), a taxa intrínseca de crescimento ( $r_m$ ) e a razão finita de aumento ( $\lambda$ ) foram reduzidas pela CL<sub>30</sub> de Azamax<sup>®</sup> e Nim-I-GO<sup>®</sup>, quando comparados com a testemunha. Os óleos essenciais testados apresentaram diferentes toxicidades (nas CL<sub>30</sub> e CL<sub>50</sub>) sobre fêmeas de *T. neocaledonicus* e ocasionaram uma redução da viabilidade de ovos de *T. neocaledonicus* em relação testemunha, nas CL<sub>50</sub> e CL<sub>95</sub>. Todos os óleos testados foram classificados como repelentes para fêmeas adultas de *T. neocaledonicus* e causaram deterrência na oviposição. Não foram observadas diferenças na sobrevivência/longevidade das fêmeas adultas tratadas com óleos essenciais, contudo, na segunda geração a sobrevivência foi afetada por *E. caryophyllus*. Os parâmetros de tabela de vida foram afetados nas duas gerações após aplicação da CL<sub>30</sub> dos óleos essenciais. Entretanto os parâmetros biológicos da segunda geração não foram afetados. As concentrações letais dos óleos essenciais de *I. verum*, *C. flexuosus*, *E. caryophyllus* apresentaram diferentes toxicidade sobre fêmea de acordo com razão de toxicidade, também apresentou efeito repelente e ovicida. As concentrações subletais dos óleos, ainda que não tenham afetado a sobrevivência, ocasionaram redução da fecundidade e afetaram parâmetros populacionais na geração seguinte. Sendo assim os efeitos subletais dos óleos essenciais são perpetuados por gerações.

**PALAVRAS-CHAVE:** Toxicidade, azadiractina, óleos essenciais, tabela de vida e fertilidade, tetraniquídeos.

## ABSTRACT

The use of natural products to control mites has been highlighted in the management of *Tetranychus* spp. in the most diverse cultures. However, there are still few studies on the lethal and sublethal effects of natural products on *Tetranychus neocaledonicus* André (Acari: Tetranychidae). The objective was to evaluate the sublethal effects of neem-based products, Azamax<sup>®</sup> and NIM-I-GO<sup>®</sup>, on the life history of *T. neocaledonicus*. As well as the lethal and sublethal effects of essential oils from *Illicium verum* Hook f., *Eugenia caryophyllus* (Sprengel) Büllock et Harrison and *Cymbopogon flexuosus* Stapf. The toxicity of essential oils was tested on adult females of *T. neocaledonicus*. Lethal concentrations and toxicity ratio were calculated for each oil. The repellent effect was verified through a free-choice test, where leaf discs treated with essential oils with LC<sub>50</sub> and LC<sub>95</sub> and untreated leaf discs were used. The repellency index, the repellency percentage of the products and the oviposition preference index were calculated. The ovicidal effect was determined from the application of LC<sub>50</sub> and LC<sub>95</sub> of essential oils. To evaluate the effects of natural products on life history, the sublethal concentration LC<sub>30</sub> of neem-based products and essential oils was used. Surviving females were individualized and assessed daily, both the number of surviving females and laid eggs. Mean survival, gross and net fecundity, and life table parameters from treatment with LC<sub>30</sub> were calculated. In the treatment with essential oils, the same parameters were also evaluated for the second generation. Survival and longevity of *T. neocaledonicus* females were not affected by neem-based products, however fecundity was affected in certain periods. In the life and fertility table, the net reproduction rate ( $R_0$ ), the intrinsic growth rate ( $r_m$ ) and the finite increase ratio ( $\lambda$ ) were reduced by the LC<sub>30</sub> of Azamax<sup>®</sup> and Nim-I-GO<sup>®</sup>, when compared with the witness. The essential oils tested showed different toxicities (in LC<sub>30</sub> and LC<sub>50</sub>) on *T. neocaledonicus* females and caused a reduction in the viability of *T. neocaledonicus* eggs compared to control, in LC<sub>50</sub> and LC<sub>95</sub>. All tested oils were classified as repellents for adult females of *T. neocaledonicus* and caused deterrence in oviposition. No differences were observed in the survival/longevity of adult females treated with essential oils, however, in the second generation, survival was affected by *E. caryophyllus*. Life table parameters were affected in the two generations after application of LC<sub>30</sub> essential oils. However, second generation biological parameters were not affected. The lethal concentrations of essential oils of *I. verum*, *C. flexuosus*, *E. caryophyllus* showed different toxicity on females according to the toxicity ratio, also showed repellent and ovicidal effects. The sublethal concentrations of the oils, although they did not affect survival, caused a reduction in fecundity, and affected population parameters in the next generation. Thus, the sublethal effects of essential oils are perpetuated for generations.

**KEYWORDS:** Toxicity, azadirachtin, essential oils, life table and fertility, spider mites.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 Métodos de controle de ácaros praga.....	13
2.2 Acaricidas naturais.....	14
2.2.1 Acaricidas naturais à base de nim.....	15
2.2.2 Óleos essenciais .....	16
2.3 Efeitos subletais de produtos naturais sobre ácaros fitófagos.....	18
2.4 Ácaros-praga .....	19
2.4.1 Família Tetranychidae.....	20
2.4.1.1 <i>Tetranychus neocaledonicus</i> André (1933) .....	22
REFERÊNCIAS .....	24
CAPÍTULO I.....	33
EFEITOS SUBLETAIS DE PRODUTOS À BASE DE NIM NA HISTÓRIA DE VIDA DO ÁCARO <i>Tetranychus neocaledonicus</i> (Acari: Tetranychidae).....	33
RESUMO.....	33
ABSTRACT .....	34
1 INTRODUÇÃO.....	35
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	36
2.1 Local de estudo .....	36
2.2 Criação de <i>Tetranychus neocaledonicus</i> .....	36
2.3 Acaricidas Vegetais .....	37
2.4 Avaliação dos efeitos subletais na história de vida e crescimento populacional.....	37
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	39
3.1 Efeitos subletais na história de vida e crescimento populacional de <i>T.</i> <i>neocaledonicus</i> .....	39
4 CONCLUSÃO .....	42
REFERÊNCIAS .....	42
CAPÍTULO II.....	45
EFEITOS LETAIS E SUBLETAIS DE ÓLEOS ESSENCIAIS NA HISTÓRIA DE VIDA DO ÁCARO <i>Tetranychus neocaledonicus</i> (Acari: Tetranychidae) NAS GERAÇÕES PARENTAL E F1.....	45
RESUMO.....	45
ABSTRACT .....	46
1 INTRODUÇÃO.....	47
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	48

2.1 Local de estudo .....	48
2.2 Criação de <i>Tetranychus neocaledonicus</i> .....	48
2.3 Óleos Essenciais .....	49
2.3.1 Análise Cromatográfica e Espectrometria de Massas. ....	49
2.3.2 Identificação Química dos Óleos Essenciais.....	50
2.4 Toxicidade de óleos essenciais para fêmeas adultas de <i>T. neocaledonicus</i> .....	50
2.5 Toxicidade de óleos essenciais para ovos de <i>T. neocaledonicus</i> .....	51
2.6 Atividade repelente de óleos essenciais sobre fêmeas adultas de <i>T. neocaledonicus</i> ...	51
2.7 Efeitos subletais de óleos essenciais na história de vida e crescimento populacional de <i>T. neocaledonicus</i> nas gerações parental e F1 .....	52
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	54
3.1 Identificação química dos óleos essenciais de <i>I. verum</i> , <i>E. caryophylla</i> e <i>C. flexuosos</i> . ....	54
3.2 Toxicidade de óleos essenciais para fêmeas adultas de <i>T. neocaledonicus</i> .....	57
3.3 Toxicidade de óleos essenciais para ovos de <i>T. neocaledonicus</i> .....	62
3.4 Atividade repelente e preferência para oviposição sobre fêmeas de <i>T. neocaledonicus</i> ....	63
3.5 Efeitos subletais de óleos essenciais na história de vida e crescimento populacional de <i>T. neocaledonicus</i> nas gerações parental e F1 .....	65
4 CONCLUSÕES.....	73
REFERÊNCIAS .....	74
ANEXO A – Artigo publicado na Systematic & Applied Acarology, v. 26, n. 8, 2021 .....	81

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Em razão dos diversos problemas associados ao uso dos agrotóxicos convencionais, a utilização de produtos naturais no manejo de pragas agrícolas tem se destacado dentre as práticas fitossanitárias (ISMAN et al., 2010; MUSA et al., 2017). Produtos de origem vegetal (extratos, óleos vegetais e essenciais) são relatados como uma alternativa promissora no controle de pragas, devido à eficácia, segurança, seletividade e baixo custo ao produtor (POTENZA et al., 2006; STEINER et al., 2011; ATTIA et al., 2013).

As propriedades inseticidas/acaricidas de diversas famílias botânicas têm sido investigadas nas últimas décadas e a partir delas muitas formulações comerciais (óleos vegetais e essenciais) têm sido desenvolvidas e aplicadas em pragas de diversas culturas (ISMAN, 2006; FRANÇA; SILVA, 2018). Dentre as famílias botânicas a família Meliaceae é a de maior relevância em razão da presença de compostos que afetam negativamente insetos e ácaros (JACOBSON, 1990; SCHMUTTERER, 2002).

A planta de nim (*Azadirachta indica* A. Juss) é a principal representante da família Meliaceae com potencial no controle de ácaros-praga. Esse potencial tóxico se deve pela presença de um metabólito secundário pertencente ao grupo dos limonoides, a azadiractina (MORDUE; NISBET, 2000). Esse composto é encontrado em toda a planta, porém, com maior abundância nas sementes de nim, sendo o principal ingrediente de diversos óleos vegetais comerciáveis, empregado no controle de ácaros fitófagos, afetando negativamente seu desenvolvimento (MARTINEZ-VILLAR et al., 2005; MOSSINI; KEMMELMEIER, 2005).

Diversos óleos essenciais são comercializados como biopesticidas, isso é atribuído à presença de substâncias bioativas altamente voláteis em sua composição (REGNAULT-ROGER et al., 2012; GUEDES; CRUZ, 2018). A aplicação desses óleos sobre diferentes grupos de pragas agrícolas (pragas de grãos armazenados, lagartas de lepidópteras e ácaros fitófagos) tem sido relatada em muitos estudos recentes e os resultados obtidos são relevantes quanto a seus efeitos tóxicos letais e/ou subletais. (THORMAR, 2012; OOTANI et al., 2013; ROH et al., 2013)

Em condições de campo, insetos e ácaros são expostos a concentrações letais de pesticidas, porém, também estão suscetíveis a concentrações subletais que mesmo não causando mortalidade imediata, são responsáveis por afetar parâmetros biológicos, comportamentais, fisiológicos e demográficos das pragas sobreviventes

(DESNEUX et al. 2007; HAVASI et al. 2018). Estudos com ácaros fitófagos expostos a concentrações subletais apresentam efeitos adversos na história de vida, como: alterações na longevidade, fertilidade, fecundidade, sobrevivência, oviposição, alimentação, além de causar efeitos comportamentais, como a repelência (MARCIC; MEDO, 2015; FRANÇA et al., 2017). O estudo do manejo de ácaros fitófagos, sobretudo da família Tetranychidae, é essencial devido à importância econômica desse grupo (MIGEON; DORKELD, 2021).

A família Tetranychidae se destaca no meio agrícola, devido ao rápido desenvolvimento, fácil dispersão e colonização e intensidade de danos que podem provocar em diferentes culturas de interesse agrônomo (MORAES; FLECHTMANN, 2008). Esse grupo de ácaros polífagos e cosmopolitas apresenta uma característica marcante, a produção de teia, que auxilia na proteção e locomoção pelo hospedeiro (GERSON, 1985; MORAES; FLECHTMANN, 2008).

Dentre as diversas espécies dentro dessa família, o ácaro *Tetranychus neocaledonicus* (Acari: Tetranychidae), está entre as 10 consideradas importantes pragas agrícolas (MIGEON, 2015), e vem se destacando devido ao grande número de hospedeiros e pelo seu elevado potencial biótico em espécies de importância econômica no mundo todo (GOMES-NETO et al., 2017; GOMES-NETO et al., 2019; MIGEON; DORKELD, 2021; SINGH; SINGH, 2021).

Diante da importância econômica das espécies de tetraniquídeos em diferentes culturas; da necessidade de um estudo individualizado e completo de um acaricida para o manejo adequado de ácaros e o fato de não haver acaricidas sintéticos registrados para *T. neocaledonicus*, objetivou-se avaliar os efeitos subletais de diferentes formulações comerciais à base de nim na história de vida de *T. neocaledonicus* e a toxicidade, repelência, efeito ovicida e os efeitos subletais de óleo essenciais sobre a história de vida de sobreviventes de *T. neocaledonicus* e na geração posterior.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Inseticidas botânicos no controle de ácaros

Um dos maiores desafios nos agrossistemas atuais é a realização correta do manejo das pragas agrícolas. Diversos métodos são aplicados no controle dessas pragas, tais como, medidas quarentenárias, resistência de plantas, controle biológico, cultural, mecânico, físico, genético e o químico (MORAES; FLECHTMANN, 2008; SHETLAR, 2011). No controle de ácaros-praga se destaca o uso de substâncias químicas sintéticas, também conhecidas como agrotóxicos que apresentam resultados imediatos. Contudo, são muitos os problemas associados ao uso inadequado dos agrotóxicos convencionais, como, o desenvolvimento de resistência das pragas ao princípio ativo do produto, a não seletividade dos mesmos que ocasiona um desequilíbrio ecológico, inviabilizando o controle natural, ressurgência de pragas, dentre outros (BRITO et al., 2006; KUMARI et al., 2015; LOPEZ et al., 2015).

Há muito tempo a utilização de inseticidas/acaricidas de origem química sintética causa sérios problemas tanto no ambiente como ao homem que entra em contato com o produto de forma direta ou indireta, bem como os altos valores desses produtos que elevam os custos de produção (EBADOLLAHI, 2016; MOHAMED et al., 2017; MUSA et al., 2017). Diversos estudos demonstram que a utilização de produtos químicos sintéticos afeta inimigos naturais comprometendo o controle biológico, além de afetar outros artrópodes benéficos (HAMEDI et al., 2010; BIONDI et al., 2012; LOPEZ et al., 2015; MOLLALOO et al., 2018).

Atualmente, existe uma demanda crescente por métodos de controle eficientes que sejam cada vez mais sustentáveis e menos nocivos ao meio ambiente, uma vez que produtos de origem química sintética por muitas vezes são ineficazes em manter pragas em geral abaixo do nível de dano econômico (TIRELLO et al., 2012). Logo, se faz necessário à utilização de novos produtos, mais seletivos e compatíveis com inimigos naturais, que venham a mitigar os efeitos negativos dos produtos químicos convencionais (STEINER et al., 2011).

Embora o controle químico tenha grande importância para o manejo de ácaros-praga, não existem acaricidas sintéticos registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para o controle da espécie *Tetranychus neocaledonicus* André (1993) (AGROFIT, 2021). A utilização de produtos de origem vegetal vem recebendo destaque dentre os demais métodos de controle, pelos

aspectos de segurança e pela conservação do equilíbrio do agroecossistema, sendo relatado como uma alternativa promissora no manejo integrado de pragas (POTENZA et al., 2006; ATTIA et al., 2013). Visto isso, se faz necessário a implantação de sistemas de manejos fitossanitários alternativos, bem como a utilização de espécies vegetais com propriedades inseticidas/acaricidas acessíveis ao produtor.

## **2.2 Acaricidas naturais**

Nas últimas décadas, a crescente preocupação da sociedade quanto aos efeitos associados às aplicações de agrotóxicos tem chamado atenção de pesquisadores para o desenvolvimento de estudos com novas táticas de controle alternativo de pragas, como o uso de inseticidas de origem vegetal que, de modo geral, são eficientes e menos tóxicos a organismos não alvo (ALMEIDA et al., 2004; TAVARES; VENDRAMIM, 2005), além de oferecerem ampla variedade de compostos com grande diversidade nas suas estruturas químicas e atividade biológica, provocam diversos efeitos sobre insetos e ácaros (GONÇALVES et al., 2001; PAVELA, 2014).

O uso de acaricidas botânicos possui vantagens como compatibilidade com inimigos naturais, baixa toxicidade ao meio ambiente e ao homem, falta de restrições de colheita e reentrada, compatibilidade com outras modalidades de programas de manejo integrado (GONÇALVES et al., 2001; VIEGAS Jr., 2003; MOHAMED et al., 2017). Além disso, inseticidas botânicos geralmente possuem uma mistura de substâncias ativas que exercem diferentes mecanismos de ação e, portanto, podem ser capazes de prevenir com eficácia o surgimento de populações de pragas resistentes (RATTAN, 2010; PAVELA, 2014).

Existem diversos processos de extração dos princípios ativos das plantas, podendo ser obtidos através da maceração de folhas ou sementes, onde deixadas de molho em água, álcool ou outros solventes, coando-se e coletando o extrato ao fim. Outro processo é a extração do óleo vegetal (principalmente da semente), esse processo demanda uma prensa e outros processos especiais. Também são extraídos de plantas, os óleos essenciais, que podem ser obtidos de várias formas, sendo a hidrodestilação e a estilação a vapor as mais utilizadas. (FRANZ; NOVAK, 2009; NEVES; CARPANEZZI, 2009).

Formulações comerciais derivadas de vegetais (óleos vegetais e óleos essenciais) são utilizadas em muitas culturas com eficiência no controle de pragas

agrícolas diversas, como: lepidópteros, moscas-branca, pragas de grãos armazenados, ácaros fitófagos. (ISMAN, 2006; FRANÇA; SILVA, 2018)

A aplicação de produtos derivados de vegetais e a investigação dos seus efeitos letais e subletais sobre ácaros fitófagos tem sido um tema bastante estudado nas últimas décadas. As principais famílias botânicas estudadas com atividade inseticida/acaricida são Rutaceae, Asteraceae, Annonaceae, Labiatae e Meliaceae. (JACOBSON, 1990). A família Meliaceae se destaca por apresentar como uma fonte comprovada de compostos com propriedades de controle de insetos e ácaros (SCHMUTTERER, 2002; ELANCHEZHIAN; VINOTHKUMAR, 2015).

### **2.2.1 Acaricidas naturais à base de nim**

O nim (*Azadirachta indica* A. Juss) é uma planta nativa do sub-continento Indiano, pertencente a família botânica Meliaceae. Essa planta é conhecida pelo seu potencial no manejo de pragas, proteção ambiental, além de propriedades medicinais. Os produtos derivados do Nim atuam como reguladores do crescimento do inseto (RCI) (ELANCHEZHIAN; VINOTHKUMAR, 2015).

O nim possui alto potencial inseticida/acaricida devido ao grande número de metabólitos secundários, que podem ser encontrados em quase todas as partes da planta, principalmente nas sementes. Dentre os diversos compostos quimicamente e biologicamente ativos encontrados nessa planta, a azadiractina se destaca por apresentar efeitos sistêmicos em certas culturas, aumentando sua eficácia e a persistência no campo (SCHMUTTERER, 2002; MARTINEZ-VILLAR et al., 2005; MOSSINI; KEMMELMEIER, 2005).

A azadiractina é um metabólito secundário pertencente ao grupo dos limonoides extraído da semente do nim, esse composto químico é o principal responsável pelos efeitos tóxicos sobre insetos e ácaros, atua interferindo no funcionamento de glândulas endócrinas que controlam a metamorfose e apresentam propriedade fagoinibidora (CORREIA; VIEIRA, 2007; BERNARDI et al., 2010). Os efeitos da azadiractina sobre insetos e aracnídeos incluem repelência, deterrência alimentar e de oviposição, interrupção do crescimento, interferência na metamorfose, esterilidade, anormalidades anatômicas e mortalidade nas diversas fases (ISMAN, 2006). Os produtos à base de nim têm vantagem por serem pouco ou não tóxicos ao homem, além de rapidamente degradados no solo e nas plantas, com um efeito residual de 3 a 7 dias (MORDUE; NISBET, 2000; MARTINEZ-VILLAR et al., 2005).

Os produtos à base de nim podem ser utilizados mediante pulverizações de extratos aquosos ou de soluções a partir de óleos emulsionáveis para controle de insetos e outras pragas foliares, como os ácaros fitófagos (ESTEVES FILHO et al., 2013; SCHLESENER et al., 2013). A aplicação de produtos e extratos derivados da planta do nim no controle de ácaros-praga, em especial da família Tetranychidae, tem se destacado nas últimas décadas (GONÇALVES et al., 2001; MARTINEZ-VILLAR et al., 2005; BRITO et al., 2006; SCHLESENER et al., 2013; MARCIC; MEDO, 2015; SOLANGI et al., 2015).

As variadas formulações comerciais à base de nim têm apresentado eficácia nas pesquisas no manejo de diferentes espécies de ácaros, em diferentes culturas. Os óleos Azamax<sup>®</sup>, Organic Neem<sup>®</sup> e Neemseto<sup>®</sup> foram capazes de controlar *Tetranychus urticae* (KOCH, 1836) em Salsa, embora em altas concentrações observaram-se sinais de fitotoxicidade (VENZON et al., 2020). Os produtos Off-Neem<sup>®</sup>, Nim-I-GO<sup>®</sup> e Natural Neem<sup>®</sup> apresentaram toxicidade sobre fêmeas adultas, repelência e efeito ovicida sobre *Tetranychus neocaledonicus* em Feijão-fava (SANTOS, 2018). Os produtos Natuneem<sup>®</sup> e Sempre Verde Killer Neem<sup>®</sup> também apresentaram eficácia no controle do ácaro fitófago *T. urticae* e foram seletivos por não afetar o ácaro predador *Phytoseiulus macropilis* (VERONEZ et al., 2012), da mesma maneira produtos formulados com óleo puro de nim (Organic<sup>®</sup> e Pironim<sup>®</sup>) demonstram eficácia no manejo de *Tetranychus evansi* (BAKER; PRITCHARD, 1960) (SANTOS et al., 2017).

Embora o nim seja uma alternativa viável no manejo de ácaros-praga, em especial do gênero *Tetranychus*, muitos produtos naturais derivados de nim e comercializados no Brasil apresentam problemas de padronização de componentes, possuindo diferentes concentrações do princípio ativo, controle de impurezas e estabilidade, o que gera resultados inconsistentes no controle de pragas em diferentes cultivos (BERNARDI et al., 2010). A eficácia desses produtos varia de acordo com a formulação comercial, logo, cada produto deve ser avaliado individualmente, sendo equivocada qualquer forma de generalização (VENZON et al., 2020).

### **2.2.2 Óleos essenciais**

Os óleos essenciais são líquidos, voláteis, de aroma forte e quase sempre agradável, proveniente do metabolismo secundário de diversas famílias de plantas

aromáticas, em especial, das famílias Lamiaceae, Myrtaceae, Rutaceae e Asteraceae. São normalmente produzidos nas folhas, armazenadas em espaços extracelulares entre a cutícula e a parede celular (REGNAULT-ROGER et al., 2012; GUEDES; CRUZ, 2018).

Flores, folhas, cascas, rizomas e frutos são matérias primas para a produção de óleos essenciais que podem ser obtidos de várias formas, como, hidrodestilação, destilação a vapor, destilação a seco ou prensagem a frio (BIZZO et al., 2009; FRANZ; NOVAK, 2009). Os principais constituintes dos óleos essenciais pertencem a dois grupos fitoquímicos: Terpenoides (Monoterpenos e Sesquiterpenos) e Fenilpropanoides. Os monoterpenos e seus análogos ocorrem em maior abundância, sendo os principais constituintes. (REGNAULT-ROGER et al., 2012).

Os óleos essenciais podem ser aplicados em diversos ramos da indústria e vêm recebendo destaque como biopesticidas, pois se apresentam como alternativa viável e sustentável no controle de pragas agrícolas (ISMAN et al., 2010). Esses óleos constituem uma rica fonte de substâncias bioativas que possuem um período de persistência limitada (devido à alta volatilidade), logo causam menos riscos ao ambiente e ao homem, não contaminam os alimentos com resíduos tóxicos, além do custo reduzido em alguns casos (CORREIA; VIEIRA, 2007; THORMAR, 2012).

Óleos essenciais são geralmente considerados de amplo espectro devido à presença de vários ingredientes ativos complexos que podem operar através de vários modos de ação. As vantagens de um inseticida/acaricida que apresenta vários modos de ação incluem atraso no desenvolvimento de resistência da população de pragas ao produto (ISMAN, 2000). A ação inseticida de muitos óleos essenciais normalmente ocorre por sinergismo entre os seus compostos, aumentando assim o seu desempenho (TAK et al., 2015).

A composição química dos óleos essenciais é lipofílica. Podem ser inalados, ingeridos ou absorvidos pela cutícula dos insetos e ácaros, causando disfunções bioquímicas (efeitos neurotóxicos ou inibidores de crescimento) e mortalidade (LEE et al., 2004; LÓPEZ-PASCUAL-VILLALOBOS, 2010). A composição química depende de diversos fatores ambientais, período de colheita, técnica de extração, sazonalidade, fatores genéticos entre outros, portanto devem ser levados em consideração quando se trabalha com óleos essenciais. (CASTRO et al. 2006; CRUZ et al. 2014)

Esses óleos ocasionam diversos efeitos, como, mortalidade em todas as fases, repelência, deterrência na alimentação, diminuição da oviposição e emergência, e redução no crescimento populacional (OOTANI et al., 2013). Diversos estudos recentes têm relatado sua ação no controle de pragas de grãos armazenados (JANAKI et al., 2018; CAO et al., 2019; RAJKUMAR et al., 2019), larvas de lepidópteras (VANICHPAKORN et al., 2010; HASHEMINIA et al., 2011) e ácaros-praga (ROH et al., 2013; MOHAMED et al., 2017; BADAWY et al., 2018).

Embora tenha um crescente número de relatos da atividade acaricida dos mais variados óleos essenciais, poucos produtos baseados em óleos essenciais de plantas têm sido registrados para o controle de ácaros-praga numa escala global (ISMAN, 2020). A eficácia dos óleos essenciais e seus constituintes variam de acordo com o perfil fitoquímico do extrato da planta e da praga alvo, sendo necessário um estudo individualizado (REGNAULT-ROGER et al., 2012).

As metodologias de avaliação da eficácia dos inseticidas botânicos variam de acordo com o bioensaio, considerando a espécie em estudo, sua ecologia e comportamento. Tradicionalmente, as pesquisas relacionadas aos efeitos dos inseticidas sobre pragas utilizam o efeito letal, através da definição das concentrações/doses letais médias ( $CL_{50}/DL_{50}$ ) e os efeitos subletais que apesar de não causar mortalidade imediata, são responsáveis por provocar importantes alterações na biologia e comportamento da praga afetada (FRANÇA. BREDA, 2018).

### **2.3 Efeitos subletais de produtos naturais sobre ácaros fitófagos**

Visando a não resistência da população de pragas afetadas pelas altas concentrações dos pesticidas convencionais e a conservação de artrópodes benéficos, uma opção de manejo é a redução das concentrações aplicadas utilizando doses subletais, que causam efeitos biológicos, comportamentais, fisiológicos ou demográficos em indivíduos que sobreviveram à exposição a um composto tóxico (DESNEUX et al. 2007; HE et al. 2013; HAVASI et al. 2018).

A história de vida de ácaros tem sido afetada por concentrações subletais de acaricidas, ocasionando alterações na longevidade, fertilidade, fecundidade, sobrevivência, oviposição, alimentação, parâmetros populacionais, além de causar efeitos comportamentais, como a repelência e modificações nos padrões de caminhamento (MARCIC; MEDO, 2015; FRANÇA et al., 2017; HAVASI et al 2018). A

exposição a concentrações subletais ainda pode acarretar efeitos adversos como a hormese, que ao invés de afetar negativamente, acaba por estimular o desenvolvimento e crescimento populacional dessas pragas (GUEDES et al., 2016). Enfatizando assim a necessidade de estudos detalhados sobre esses efeitos subletais dos produtos nas diferentes espécies de artrópodes.

Os efeitos subletais de produtos de origem químico sintético sobre história de vida de ácaros fitófagos e predadores têm sido bastante estudado em anos recentes (LI et al., 2017; BOZHGANI et al., 2018; AMARAL et al., 2020), bem como, de produtos de origem vegetal (DUSO et al., 2008; MARCIC; MEDO, 2015; HAVASI et al., 2020). A aplicação de concentrações subletais de produtos naturais influenciaram no comportamento, sobrevivência, reprodução e crescimento populacional de ácaros fitófagos do gênero *Tetranychus* e apresentaram seletividade sobre ácaros predadores. (GHOLAMZADEH-CHITGAR et al., 2013; REZAEI et al., 2014; ARAUJO et al., 2020). Tais resultados indicam que esses produtos, em menores concentrações, podem ser uma alternativa de controle eficaz e sustentável, respeitando o meio ambiente e podendo ser aplicado em programas de manejo integrado de praga (PEREIRA et al., 2008; MARCIC; MEDO, 2015).

Efeitos subletais podem influenciar negativamente a sobrevivência e reprodução ao longo da vida de ácaros, tais parâmetros são avaliados diariamente e os dados obtidos são utilizados no cálculo dos parâmetros da tabela de vida e fertilidade ou da taxa instantânea de crescimento que indicam se está havendo ou não crescimento populacional (FRANÇA; BREDA, 2018). A avaliação dos efeitos subletais em níveis populacionais é importante para obter melhores estimativas do impacto dos inseticidas naturais sobre ácaros-praga (BANKS; STARK, 1998).

No momento da pulverização em campo, dificilmente ocorre uma cobertura uniforme da planta, aliando esse fato a alta capacidade de dispersão dos ácaros, se faz necessário avaliar a capacidade reprodutiva dos sobreviventes às concentrações subletais, bem como as gerações posteriores, visando uma investigação do impacto no fitness populacional em longo prazo de ácaros fitófagos e predadores (SÁENZ-DE-CABEZÓN IRIGARAY; ZALOM, 2009; MARTINI et al. 2012; MARCIC; MEDO, 2015).

## **2.4 Ácaros-praga**

Os ácaros são organismos pertencentes ao filo Artrópoda, Subfilo Chelicerata e Classe Arachdina. A Classe dos aracnídeos é a segunda maior classe do filo dos

artrópodes, perdendo somente para o grupo dos insetos (KRANZ; WALTER, 2009). São seres polívoros, possuem diversas fontes alimentares, como microorganismos, matéria orgânica em decomposição, partes de vegetais (fitófagos), até parasitas de vertebrados e outros invertebrados (MORAES; FLECHTMANN, 2008). São indivíduos cosmopolitas, logo podem ser encontrados em todo o mundo, em virtude da capacidade de adaptação a diferentes hospedeiros e as condições ambientais adversas (NAVIA et al., 2007).

Existem espécies de ácaros que se comportam como predadores, e apresentam um par de quelíceras, pernas longas e movimentos ágeis. Enquanto que existem espécies fitófagas (ácaros-praga), com pernas curtas e mais lentos, apresentam quelíceras modificadas em forma de estilete utilizados para perfurar diferentes estruturas vegetais, alimentando-se do conteúdo citoplasmático das células (ANDRADE-BERTOLO et al., 2011). Altas infestações desses ácaros fitófagos podem prejudicar o pleno desenvolvimento da planta, causando uma redução da produtividade, bem como o aumento dos custos de produção (FLECHTMANN; KNIHINICKI 2002; MENDONÇA et al., 2011).

O conhecimento das pragas é de grande importância no manejo fitossanitário das plantas, pois elas são responsáveis por grandes perdas na agricultura, alimentando-se dos tecidos vegetais, causando injúrias e ocasionando perdas no agronegócio brasileiro que podem chegar a 55 bilhões de reais ao ano (SUGAYAMA et al., 2015). Cerca de 20 a 30 espécies de ácaros podem ocasionar injúrias consideráveis em plantas cultivadas no Brasil, ressaltando assim a importância de conhecer e compreender o desenvolvimento dos mesmos nos mais diversos hospedeiros (MORAES; FLECHTMANN, 2008).

As principais famílias de ácaros fitófagos se encontram na subordem Prostigmata e são elas: Eriophyidae, Tenuipalpidae, Tarsonemidae e Tetranychidae (DAMASCENO, 2008). Dessas famílias a de maior importância agrícola é a Tetranychidae, que tem diversas espécies consideradas pragas primárias em culturas no mundo todo (MIGEON; DORKELD, 2021).

#### **2.4.1 Família Tetranychidae**

A família Tetranychidae é uma importante família de ácaros pertencentes à subordem Prostigmata (Acari: Trombidiforme) que engloba espécies que causam perdas significativas tanto em cultivos agrícolas como em plantas ornamentais. Essa

família possui mais de 1300 espécies de ácaros fitófagos, dentre elas mais de 100 são consideradas como pragas primárias (MIGEON; DORKELD, 2021).

Ácaros tetraniquídeos constituem uma das mais severas pragas agrícolas conhecidas, esse 'status' está relacionado a combinação de vários fatores, como alto potencial biótico, rápido desenvolvimento, fácil dispersão e colonização de sua população e ampla distribuição geográfica (BONATO; GUTIERREZ, 1993; OTHMAN; ZHANG, 2003; SEEMAN; BEARD, 2011).

Esses ácaros ocasionam sérios danos em diversas culturas distribuídas por todo o mundo, alimentando-se diretamente da parte aérea dos vegetais, levando a formação de manchas cloróticas brancas ou amareladas e reduzindo consideravelmente a atividade fotossintética, podendo levar a abscisão foliar em altas infestações (GOMES-NETO et al., 2019). Essas injúrias levam a uma diminuição da vitalidade, crescimento, floração e frutificação da planta (MORAES; FLECHTMANN, 2008; SINGH; SINGH, 2017).

A produção de teia é uma característica marcante dessa família, por isso esses ácaros são conhecidos, na literatura nacional, como ácaros de teia (*spider mites* em inglês). Essa característica confere algumas vantagens para o ácaro, funcionando como uma proteção contra predadores e fatores abióticos (chuva/vento), além de facilitar a dispersão na planta hospedeira (GERSON, 1985; MORAES; FLECHTMANN, 2008).

As espécies pertencentes a essa família têm um ciclo de vida que passam pelas seguintes fases: Ovo (embrionária), Larva, Ninfa e Adulto. A larva eclode do ovo e tem como característica possuir apenas três pares de pernas. Nas fases de ninfa ela passa por dois ínstar, protoninfa e deutoninfa. Após a fase de ninfa, o ácaro adulto emerge. Entre cada ínstar existe uma fase de repouso na qual ocorre uma mudança do tegumento, bem como mudanças morfofisiológicas, essas fases são: protocrisálida, deutocrisálida e teliocrisálida. (MORAES; FLECHTMANN, 2008). A reprodução é sexuada ou por partenogênese (ZHANG, 2013; MONTEIRO et al., 2014; GOMES NETO et al., 2017;). As larvas são claras e brilhantes no momento da eclosão, com o tempo adquirem uma cor esverdeada com manchas dorsais laterais. Ao atingir a fase de protoninfa a cor verde no dorso se torna mais intensa, na fase de deutoninfa o ácaro apresenta uma coloração levemente rósea nas espécies de ácaros vermelhos (MORAES; FLECHTMANN, 2008).

O dimorfismo sexual é bem evidente a partir da última fase imatura (deutoninfa). Na fase adulta os machos possuem um corpo com o formato triangular, com o opistossoma afilado e tamanho consideravelmente menor que as fêmeas. Enquanto as fêmeas adultas apresentam corpo ovolado, idiossoma globoso e arredondado de 0,4 a 0,5 mm de comprimento (visíveis a olho nu). Durante a cópula (reprodução sexuada) o macho insere o edeago (órgão sexual masculino) no idiossoma da fêmea para depositar o esperma. Quanto à área genital externa, a fêmea apresenta ondulações radiais ao redor da vulva, já os machos possuem edeago com diferentes formas de acordo com a espécie. É um órgão de extrema importância por ser utilizado por taxonomistas para identificação de novas espécies (FLECHTMANN, 1985; MORAES; FLECHTMANN, 2008; HOY, 2011).

A grande maioria dos representantes da família Tetranychidae tem preferência pela parte inferior das folhas (abaxial), porém, a parte superior (adaxial) também pode ser colonizada em casos de altas infestações. As injúrias provocadas por esses ácaros causam um esvaziamento das células epidérmicas e parenquimatosas, após a perfuração das células vegetais com seus estiletos queliceriais. A atividade fotossintética também é comprometida devido ao rompimento das células de clorofila. Nos locais infestados surgem pontuações translúcidas que podem alcançar toda a extensão da folha, avançando para coloração verde pálido a prateada e em casos severos as folhas apresentam necrose, levando a abscisão foliar o que afeta significativamente a produção de diversas culturas em todo o mundo (MORAES; FLECHTMANN, 2008).

Recentemente *T. neocaledonicus* André (1933) vem se destacando, devido sua grande diversidade de hospedeiros e pelo seu elevado potencial biótico em algumas espécies de importância econômica (GOMES-NETO et al., 2017; GOMES-NETO et al., 2019; MIGEON; DORKELD, 2021).

#### **2.4.1.1 *Tetranychus neocaledonicus* André (1933)**

O *T. neocaledonicus*, conhecido como ácaro vermelho, é uma espécie de ácaro estritamente fitófaga que foi descrita pela primeira vez em algodoeiros na Nova Caledônia (Oceania) em 1933. Essa espécie está entre as 10 espécies consideradas importantes pragas agrícolas (MIGEON, 2015). Apresenta uma distribuição pantropical, já tendo sido relatada em 510 hospedeiros ao longo de 67 países (SEEMAN; BEARD, 2011; MIGEON; DORKELD, 2021).

O *T. neocaledonicus* quando adulto apresenta uma coloração vermelho carmim na região lateral e alaranjada na região dorso-central, coloniza a parte abaxial das folhas e produz teia em grandes quantidades, que fornecem um habitat isolado para a colônia e ácaros, dificultando o controle dos mesmos (MORAES; FLECHTMANN, 2008). Todos os estágios (larva, ninfa e adulto) se alimentam de superfície das folhas, principalmente ao longo das regiões adjacentes da nervura central. Os ácaros adultos, enquanto se alimentam, penetram na camada epidérmica das folhas com seus estiletes para sugar o conteúdo celular, alimentando-se por 1-2 minutos em um determinado ponto e movendo-se para um novo local de alimentação, levando à clorose aguda das folhas (SHIRKE et al., 2008).

Com ampla distribuição geográfica, principalmente em regiões tropicais e subtropicais do mundo, *T. neocaledonicus* é considerada praga de diferentes cultivos agrícolas, plantas medicinais e ornamentais. Na Índia, a busca por métodos de controles dessa praga em *Abelmoschus esculentus* L. (quiabo) e *Solanum melongena* L. (berinjela) tem sido relatado em estudos recentes (RACHANA et al., 2016; SINGH; SINGH, 2017; SINGH; SINGH, 2021).

No Brasil, *T. neocaledonicus* foi relatado pela primeira vez em 1967 no estado de São Paulo em plantas espontâneas, *Macrotyloma axillare* (macrotiloma), *Medicago sativa* (alfafa) e *Medicago polymorpha* (carrapicho). Nos últimos anos foi registrado em *Morus rubra* L. (amora), *Ocimum basilicum* L. (manjeriço), *A. esculentus* (quiabo) e *Vigna unguiculata* L. (feijão fradinho) no Distrito Federal (MENDONÇA et al., 2011), bem como em cultivos de *Arachis hypogaea* L. (amendoim) na Paraíba (SILVA; GONDIM JÚNIOR, 2016), em *Erythrina velutina* Willd (mulungu) em Sergipe, árvore comum na caatinga com potencial para exploração medicinal e florestal (PODEROSO et al., 2010) e em plantas de feijão-fava no Piauí (GOMES NETO et al., 2019).

O desenvolvimento de ovo a adulto de *T. neocaledonicus* em feijão-fava ocorre em cerca de 11 a 12 dias, enquanto a longevidade para fêmeas é de 44,3 e machos 48,9 dias. Durante a vida adulta, as fêmeas tiveram um período de oviposição de 36 dias, ao longo desse período foram ovipositados uma média de 74 ovos. Ainda vale ressaltar a alta viabilidade de ovos (94%) e sobrevivência de larvas (92%). A biologia e os parâmetros de tabela de vida calculados indicam que o *T. neocaledonicus* apresenta potencial de se tornar praga dessa cultura. (GOMES NETO et al., 2017)

## REFERÊNCIAS

- AGROFIT: Sistema de agrotóxico fitossanitários. 2021. Disponível em: <[http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)> Acessado em: 15/02/2021.
- ALMEIDA, S. A.; ALMEIDA, F. A. C.; SANTOS, N. R.; ARAÚJO, M. E. R.; RODRIGUES, J. P. Atividade inseticida de extratos vegetais sobre *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) (Coleoptera: Bruchidae). **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 10, n. 1, p. 67-70, 2004.
- AMARAL, I.; MELVILLE, C. C.; ROCHA, C. C.; VECHIA, J. F. D.; PRADO, T. J.; ANDRADE, D. J. Sublethal effects of spiroadiclofen on biological and demographic parameters of the citrus leprosis mite *Brevipalpus yothersi* (Acari: Tenuipalpidae). **Pest Management Science**. v. 76, p. 1874-1880, 2020.
- ANDRADE-BERTOLO, F. O.; OTT, A. P.; FERLA, N. J. **Ácaros em videira no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: FEPAGRO, 24 p. Boletim Técnico, n. 21, 2011.
- ARAUJO, M. J. C.; CAMARA, C. A. G.; BORN, F. S.; MORAES, M.M. Acaricidal activity of binary blends of essential oils and selected constituents against *Tetranychus urticae* in laboratory/greenhouse experiments and the impact on *Neoseiulus californicus*. **Experimental and Applied Acarology**. v. 80, p. 423-444, 2020.
- ATTIA, S.; GRISSA, K. L.; LOGNAY, G.; BITUME, E.; HANCE, T.; MAILLEUX, A. C. A review of the major biological approaches to control the worldwide pest *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) with special reference to natural pesticides. **Journal of Pest Science**, v. 86, p. 361-386, 2013.
- BADAWY, M. E. I.; ABDELGALEIL, S. A. M.; MAHMOUD, N. F.; MAREI, A. E. S. M. Preparation and characterizations of essential oil and monoterpene nanoemulsions and acaricidal activity against two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch). **International Journal of Acarology**. v. 44, n. 7, p. 330-340, 2018.
- BANKS, J. E.; STARK, J. D. What is ecotoxicology? Na adhoc grab bag or na interdisciplinary Science? **Integrative Biology: Issues, News and Reviews**, v. 5, p. 195-204, 1998.
- BERNARDI, D.; BOTTON, M.; CUNHA, U.S. da; NAVA, D. E.; GARCIA, M. S. Bioecologia, monitoramento e controle do ácaro-rajado com o emprego da azadiractina e ácaros predadores na cultura do morangueiro. Bento Gonçalves – RS: Centro Nacional de **Pesquisa Uva e Vinho**. 2010. 16p.
- BIONDI, A.; MOMMAERTS, V.; SMAGGHE, G.; VINUELA, E.; ZAPPALA, L.; DESNEUX, N. The non-target impact of spinosyns on beneficial arthropods. **Pest Management Science**, v. 68, n.12, p. 1523-1536, 2012.
- BIZZO, H. R.; HOVELL, A. M. C.; REZENDE, C. M. Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 588-594, 2009.

- BONATO, O.; GUTIERREZ, J. Elaboration de plans d'échantillonnage communs à deux ravageurs: exemple de deux acariens phytophages (Acari: Tetranychidae) attaquant le manioc. ANPP - **Troisième Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture**, Montpellier: p. 571-578, 1993.
- BOZHGANI, N. S. S.; GHOBADI, H.; RIAHI, E. Sublethal effects of chlorfenapyr on the life table parameters of twospotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Systematic & Applied Acarology**. v. 23, n. 7, p. 1342-1351. 2018.
- BRITO, H. M.; GONDIM JÚNIOR, M. G. C.; OLIVEIRA, J. V.; CÂMARA, C. A. G. Toxicidade De Natuneem Sobre *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) e ácaros predadores da família Phytoseiidae. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 4, p. 685-691, 2006.
- CAO, J. Q; PANG, X; GUO, S. S; WANG, Y; GENG, Z. F; SANG, Y. L; DU, S. S. Pinene-rich essential oils from *Haplophyllum dauricum* (L.) G. Don display anti-insect activity on two stored-product insects. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 140, p. 1-8, 2019.
- CASTRO, D.P.; CARDOSO, M.G.; MORAES, J.C.; SANTOS, N.M.; BALIZA, D.P. Não preferência de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) por óleos essenciais de *Achillea millefolium* L. e *Thymus vulgaris* L. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 8, n. 4, p. 27-32, 2006
- CORREIA, A. G.; VIEIRA, P. C. **Produtos naturais no controle de insetos**, São Paulo: EdUFSCar, 2ª. ed., p.150, 2007.
- CRUZ, G. S.; WANDERLEY-TEIXEIRA, V.; OLIVEIRA, J. V.; CORREIA, A. A.; BREDA, M. O.; ALVES, T. J. S.; CUNHA, F. M.; TEIXEIRA, A. A. C.; DUTRA, K.; NAVARRO, D. M. A. F. Bioactivity of *Piper hispidinervum* (Piperales: Piperaceae) and *Syzygium aromaticum* (Myrtales: Myrtaceae) oils, with or without formulated Bta on the biology and immunology of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of economic entomology**. v. 107, n. 1, p. 144-153. 2014.
- DAMASCENO, M. R. A. **Ácaros associados a espécies vegetais cultivadas na região semi-árida de Minas Gerais**. 143 p. Dissertação (Mestrado-Produção vegetal no Semi-Árido), Universidade Estadual de Montes Claros, 2008.
- DESNEUX, N.; DECOURTYE, A.; DELPUECH, J. M. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annual Review of Entomology**, v. 52, p. 81-106, 2007.
- DUSO, C., MALAGNINI, V., POZZEBON, A., CASTAGNOLI, M., LIGUORI, M. & SIMONI, S. Comparative toxicity of botanical and reduced-risk insecticides to Mediterranean populations of *Tetranychus* and *Phytoseiulus persimilis* (Acari Tetranychidae, Phytoseiidae). **Biological Control**, v. 47, p. 16–21, 2008.
- EBADOLLAHI, A. Chemical composition, acaricidal and insecticidal effects of essential oil from *Achillea filipendulina* against two arthropod pests; *Oryzaephilus surinamensis* and *Tetranychus urticae*. **Toxin Reviews**, p. 1–6, 2016.
- ELANCHEZHIAN K.; VINOTHKUMAR B. Neem: An EcoFriendly Botanical Insecticide in Pest Management. **The Journal of Insect Science**. Photon v. 116, p. 207-217. 2015.

- ESTEVEZ FILHO, A. B.; OLIVEIRA, J. V.; TORRES, J. B.; MATOS, C. H. C. Toxicidade de espiromesifeno e acaricidas naturais para *Tetranychus urticae* Koch e compatibilidade com *Phytoseiulus macropilis* (Banks). **Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 2675-2686, 2013.
- FLECHTMANN, C. H. W. & MORAES, R. C. B. 2017. Tetranychidae Database. Disponível em: <http://www.lea.esalq.usp.br/tetranychidae/>. Acessado em: 24/02/2021
- FLECHTMANN, C. H. W. **Ácaros de Importância agrícola**. 6ª ed. São Paulo: Nobel, p. 189, 1985.
- FLECHTMANN, C. H. W.; KNIHINICKI, D. K. New species and new record of *Tetranychus Dufour* from Australia, with a key to the major groups in this genus based on females (Acari: Prostigmata: Tetranychidae). **Australian Journal of Entomology**, v. 41, p. 118-127, 2002.
- FRANÇA, S. M.; BREDA, M. O.; BARBOSA, D. R. S.; ARAUJO, A. M. N.; GUEDES, A. C. The Sublethal Effects of Insecticides in Insects. In: SHIELDS, V. D. C. (Org). **Biological Control of Pest and Vector Insects**. Townson: IntechOpen, 2017. p. 23-39.
- FRANÇA, S. M.; SILVA, P. R. R (orgs).; **Inseticidas botânicos no manejo de pragas: um passo para a sustentabilidade agrícola**. Teresina: EDUFPI, p.172, 2018.
- FRANÇA, S. M.; BREDA, M. O. Metodologias para a avaliação de inseticidas botânicos no manejo integrado de pragas. In: FRANÇA, S. M.; SILVA, P. R. R (orgs).; **Inseticidas botânicos no manejo de pragas: um passo para a sustentabilidade agrícola**. Teresina: EDUFPI, p.172, 2018.
- FRANZ, C; NOVAK, J. Sources of essential oils. In: BASER, K. H. C.; BUCHBAUER, G. (Ed.) **Handbook of Essential Oils**. Boca Raton: CRC Press, 2009. p. 39-82.
- GERSON, U. The spider mite *Oligonychus mangiferus* found on mango in Israel. **Phytoparasitica**, v. 14, n. 2, 1986.
- GHOLAMZADEH-CHITGAR. M.; KHOSRAVI, R.; JALALISENDI, J.; GHADAMYARI, M. Sublethal effects of *Thymus vulgaris* essential oil on life-table parameters of two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). **Archives Of Phytopathology and Plant Protection**, v. 46, n. 7, p. 781-788, 2013.
- GOMES NETO, A. V.; SILVA, P. R. R.; MELO, J. W. S.; MELO JÚNIOR, L. C.; FRANÇA, S. M. Biology and life table of *Tetranychus neocaledonicus* on lima bean. **International Journal of Acarology**, v. 43, n. 8, p. 622-626, 2017.
- GOMES-NETO, A.V.; SILVA, P.R.R.; SILVA, J.D.C.; SANTOS, M.F.; MELO, J.W.S.; FRANÇA, S.M. First record of mites associated with lima bean (*Phaseolus lunatus* L.). **Journal of Plant Protection Research**, v. 59, p. 418–422, 2019.
- GONÇALVES, M. E. C.; OLIVEIRA, J. V.; BARROS, J.; TORRES, J. B. Efeito de extratos vegetais sobre estágios imaturos e fêmeas adultas de *Mononychellus tanajoa* (Bondar) (Acari: Tetranychidae). **Neotropical Entomology**, v. 30, n. 2, p. 305-309, 2001.

GUEDES, R.N.C.; SMAGGHE, G.; STARK, J. D.; DESNEUX, N. Pesticide-induced stress in arthropod pests for optimized integrated pest management programs. **Annual Review of Entomology**, v. 61, p. 43-62, 2016.

GUEDES, C. A.; CRUZ, G. A. Óleos essenciais e seu efeito sobre lepidópteros pragas. In: FRANÇA, S. M.; SILVA, P. R. R (Orgs).; **Inseticidas botânicos no manejo de pragas: um passo para a sustentabilidade agrícola**. Teresina: EDUFPI, p.172, 2018.

HAMEDI, N.; FATHIPOUR, Y.; SABER, M. Sublethal effects of fenpyroximate on life table parameters of the predatory mite *Phytoseius plumifer*. **BioControl**, v. 55, n. 2, p. 271–278, 2010.

HASHEMINIA, S. M.; JALALI, S. J.; TALEBI, J. K.; MOHARRAMIPOUR, S. The effects of *Artemisia annua* L. and *Achillea millefolium* L. crude leaf extracts on the toxicity, development, feeding efficiency and chemical activities of small cabbage *Pieris rapae* L. (Lepidoptera: Pieridae). **Pesticide Biochemistry and Physiology**. v. 99, p. 244-249, 2011.

HAVASI, M.; KHERADMAND, K.; MOSALLANEJAD, H.; FATHIPOUR, Y. Sublethal effects of diflovidazin on life table parameters of two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **International Journal of Acarology**, v. 44, n. 2-3, p.15-120, 2018.

HAVASI, M.; KHERADMAND, K.; MOSALLANEJAD, H.; FATHIPOUR, Y. Life history traits and demographic parameters of *Neoseiulus californicus* McGregor (Acari: Phytoseiidae) treated with the Biomite®. **Systematic and Applied Acarology**, v.25, n.1, p.125-138, 2020.

HE, Y. X.; ZHAO, J. W.; ZHENG, Y.; WENG, Q. Y.; BIONDI, A.; HAVASI, N.; WU, K.M. Assessment of potential sublethal effects of various insecticides on key biological traits of the tobacco whitefly, *Bemisia tabaci*. **International Journal of Biological Sciences**. v. 9, p. 246–255, 2013.

HOY, M. A. **Agricultural acarology: introduction to integrated mite management**. v. 7, CRC Press, 2011.

ISMAN, M. B. Plant essential oils for pest and disease management. **Crop Protection**. v. 19, p. 603-608, 2000.

ISMAN, M.B. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. **Annual Review of Entomology**, v. 51, p. 45-66, 2006.

ISMAN, M. B.; MIRESMALLI, S.; MACHIAL, C. Commercial opportunities for pesticides based on plant essential oils in agriculture, industry and consumer products. **Phytochemistry Reviews**, v.10, n. 2, p. 197-204, 2010.

ISMAN, M. B. Botanical Insecticides in the Twenty-First Century-Fulfilling Their Promise? **Annual Review of Entomology**. v.65. n. 1, p. 1-17, 2020.

JANAKI, S.; ZANDI-SOHANI, N.; RAMEZANI, L.; SZUMNY, A. Chemical composition and insecticidal efficacy of *Cyperus rotundus* essential oil against three stored product pests. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 133, p. 93-98, 2018.

JACOBSON, M. Botanical pesticides: past, present and future. In: ARNASON, J.T.; PHILOGÈNE, B.J.R.; MORAND, P. **Insecticide of plant origin**. Washington, DC, American Chemical Society. v. 387, p. 69-77, 1989.

KUMARI, S.; CHAUHAN, U.; KUMARI, A.; NADDA, G. Comparative toxicities of novel and conventional acaricides against different stages of *Tetranychus urticae* Koch (Acarina: Tetranychidae). **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**. v. 16, p. 191–196, 2015.

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

LEE, B. H.; ANNIS, P.C; TUMAALII, D.; CHOI, W.S. Fumigant toxicity of essential oils from the Myrtaceae family and 1,8-cineole against 3 major stored-grain insects. **Journal of Stored Products Research**, v. 40, n. 5, p. 553-564, 2004.

LI, Y.Y.; FAN, X.; ZHANG, G.H.; LIU, Y.Q.; CHEN, H.Q.; LIU, H.; WANG, J.J. Sublethal effects of bifenthrin on life history and population parameters of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Systematic and Applied Acarology**. v. 22, n. 1, p. 148-158, 2017.

LOPEZ, L.; SMITH, H. A.; HOY, M. A.; BLOOMQUIST, J. R. Acute Toxicity and Sublethal Effects of Fenpyroximate to *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae). **Journal of Economic Entomology**, p. 1-7, 2015.

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.

MARCIC, D.; MEDO, I. Sublethal effects of azadirachtin-A (NeemAzal-T/S) on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Systematic and Applied Acarology**, v. 20, p. 25-38, 2015.

MARTINEZ-VILLAR, E.; SÁENZ-DE-CABEZÓN, F. J.; MORENO-GRIJALBA, F.; MARCO, V.; PEREZ-MORENO, I. Effects of azadirachtin on the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Experimental and Applied Acarology**, v. 35, p. 215–222, 2005.

MARTINI, X.; KINCY, N.; NANSEN, C. Quantitative impact assessment of spray coverage and pest behaviour on contact pesticide performance. **Pest Management Science**, v. 68, p. 1471–1477, 2012.

MENDONÇA, R. S.; NAVIA, D.; DINIZ, I. R.; FLECHTEMANN, C. H. W. South American spider mites: New hosts and localities. **Journal of Insect Science**, v. 11, n. 121, p. 1-17, 2011.

MIGEON, A. The Jean Gutierrez spider mite collection. **ZooKeys**, n. 489, p. 15-24, 2015.

- MIGEON, A. DORKELD, F. Spider Mites Web: a comprehensive database for the Tetranychidae. 2021. Disponível em: <http://www1.montpellier.inra.fr/CBGP/spmweb>  
Acessado em: 05/02/2021
- MOHAMED, F.S.A.; AMER, S.A.A.; SAMMOUR, E.A.; ARWISH, Z.E.A.; HUSSEINH. E.; EL-DESOUKY, M.E. Efficiency of *Pelargonium graveolens* and *Gaultheria procumbens* Essential Oils and Their Formulations on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and Two Predatory Phytoseiid Mites. **International Journal of Agricultural Technology**, v. 13, n. 3, p. 433-446, 2017.
- MOLLALOO, M.G.; KHERADMAND, K.; TALEBI, A.A. Sublethal effects of pyridaben on life table parameters of the predatory mite *Neoseiulus californicus* (McGregor)(Acari: Phytoseiidae). **Zoology and Ecology**, v.28, n.1, p. 56-63, 2018.
- MONTEIRO, L.B.; KUHN T. M.A.; MOGOR, A.F.; SILVA, E.D.B. Biology of the Two-Spotted Spider Mite on Strawberry Plants. **Neotropical Entomology**, v. 43, n. 2, p. 183-188, 2014.
- MORAES, G.J.; FLECHTMANN, C.H.W. Manual de acarologia: acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil. Ribeirão Preto: **Holos**, p. 288, 2008.
- MORDUE, A. J.; NISBET, A. J. Azadirachtin from the Neem Tree *Azadirachta indica*: its Action Against Insects. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**. v. 29, n. 4, p. 615-632, 2000.
- MOSSINI, S. A. G.; KEMMELMEIER, C. A árvore Nim (*Azadirachta indica* A. Juss.): Múltiplos Usos. **Acta Farmacêutica Bonaerense**. v. 24, n. 1, p. 139-48, 2005.
- MUSA, A.; MEDO, I.; MARIC, A.; MARCIC, D. Acaricidal and sublethal effects of a *Chenopodium*-based biopesticide on the two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae). **Experimental and Applied Acarology**, v. 71, p. 211–226, 2017.
- NAVIA, D.; MORAES, G. J.; FLECHTMANN, C. H. W. Phytophagous mites as invasive alien species: quarantine procedures. In: MORALES-MALACARA, J. B.; BEHAN-PELLETIER, V.; UECKERMANN, E.; PEREZ, T. M.; ESTRADA-VENEGAS, E. G.; and BADII, M. (Eds.). **Acarology XI: Proceedings off the Internacional Congresso**. Instituto de Biología and Facultad de Ciências, UNAM; Sociedad Latinoamericana de Acarologia. p. 87-96, 2007.
- NEVES, E. J. M.; CARPANEZZI, A. A. Prospecção sobre o cultivo do nim (*Azadirachta indica*) no Brasil. Dados eletrônicos. Colombo: Embrapa Florestas, 2009.
- OOTANI, M. A.; AGUIAR, R. W.; RAMOS, A. C. C.; BRITO, D. R.; SILVA, J. B.; CAJAZEIRA, J. P. Use of Essential Oils in Agriculture. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**. v. 4, n. 2, p. 162-174, 2013.
- OTHMAN, Y.; ZHANG, Z.Q. Tetranychidae (Acari: Prostigmata) of Malay Peninsula: Checklist, key to genera and species and description of three new species. **Systematic & Applied Acarology**, v. 8. p. 149-173, 2003.
- PAVELA, R. Acute, synergistic and antagonistic effects of some aromatic compounds on the *Spodoptera littoralis* Boisd. (Lep., Noctuidae) larvae. **Industrial Crops and Products**, v. 60, p. 247-258, 2014.

- PEREIRA, A. C. R. L.; OLIVEIRA, J. V.; GONDIM JR., M. G. C.; CÂMARA, C. A. G. Atividade inseticida de óleos essenciais e fixos sobre *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) (Coleoptera: Bruchidae) em grãos de caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. **Ciência Agrotecnologia**, v. 32, p. 717-724, 2008.
- PODEROSO, J. C. M.; RIBEIRO, G. T.; NÁVIA, D.; PASSOS, E. M.; GONÇALVES, G. B.; CORREIA-OLIVEIRA, M. E.; DANTAS, P. C. Primeiro registro no Brasil de *Erythrina velutina* Willd. como hospedeira de *Tetranychus neocaledonicus* (Acari: Tetranychidae). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 12, n. 3, p. 398-401, 2010.
- POTENZA, M.R.; GOMES, R.C.O.; JOCYS, T.; TAKEMATSU, A.P.; RAMOS, A.C.O. Avaliação de produtos naturais para o controle do ácaro rajado *Tetranychus urticae* (Koch, 1836) (Acari: Tetranychidae) em casa-de-vegetação. **Arquivo do Instituto Biológico**, v. 73, n. 4, p. 455-459, 2006.
- QUEIROZ, D. L.; AMARO, A. C. C.; DEDECECK, R. A.; FLECHTMANN, C. H. W.; OLIVEIRA, O. B. Efeito do silício no aumento da resistência do *Eucalyptus camaldulensis* ao ácaro *Oligonychus punicae* (Acari: Tetranychidae). **XXV Congresso Brasileiro de Entomologia**, 2014.
- RACHANA, R. R.; JAYASIMHA, G. T.; RICHA, V.; MANJUNATHA, M. Evaluation of fungal pathogens, *Fusarium semitectum* Berk. and Ravenel and *Hirsutella thompsonii* Fisher against red spider mite, *Tetranychus neocaledonicus* (Andre) of okra under laboratory and greenhouse conditions. **Journal of Applied and Natural Science**. v. 8, n. 1, p. 375-380, 2016.
- RAJKUMAR, V; GUNASEKARAN, C; CHRISTY, I. K; DHARMARAJ, J; CHINNARAJ, P; PAUL, C. A. Toxicity, antifeedant and biochemical efficacy of *Mentha piperita* L. essential oil and their major constituents against stored grain pest. **Pesticide biochemistry and physiology**, v. 156, p. 138-144, 2019.
- RATTAN R.S. Mechanism of action of insecticidal secondary metabolites of plant origin. **Crop Protection**, v. 29, p. 913-920, 2010.
- 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.
- REZAEI, R.; KARIMI, J.; ABBASIPOUR, H.; ASKARIANZADEH, A. Sublethal effects of essential oil of *Cinnamomum zeylanicum* Blume on life expectancy (ex) and age-specific fertility (mx) of two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 47, n. 8, p. 900-905, 2014.
- ROH, H. S.; LEE B. H.; PARK, C. G. Acaricidal and repellent effects of myrtacean essential oils and their major constituents against *Tetranychus urticae* (Tetranychidae). **Journal of Asia-Pacific Entomology**. v. 16, n. 3, p. 245-249, 2013.
- SÁENZ-DE-CABEZÓN IRIGARAY, F.J.; ZALOM, F.G. Comparative repellent effects of different acaricide residues on predatory and spider mites. Is there a need for including behavior into standardized testing methods? **IOBC/wprs Bulletin**, v. 50, p. 95-98, 2009.

SANTOS, M. D.; MACIEL, A. G. S.; TRINDADE, R. C. P.; SILVA, E. S.; DUARTE, A. G. Eficiência do óleo de nim e do extrato pironim sobre o ácaro vermelho do tomateiro *Tetranychus evansi* Baker & Pritchard (Acari: Tetranychidae). **Ciência Agrícola**, v. 15, n. 2, p. 53-59, 2017.

SANTOS, M. F. **Produtos à base de nim (*Azadirachta indica* A. JUSS.) no controle de ácaros tetranychidae na cultura do feijão-fava e em minijardim clonal de eucalipto**. 64 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura Tropical), Universidade Federal do Piauí, 2018.

SCHLESENER, D. C. H.; DUARTE, A. F.; GUERRERO, M. F. C.; CUNHA, U. S.; NAVA, D. E. Efeitos do nim sobre *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) e os predadores *Phytoseiulus macropilis* (Banks) e *Neoseiulus californicus* (Mcgregor) (Acari: Phytoseiidae). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 1, p. 059-066, 2013.

SCHMUTTERER, H. The Neem Tree, 2nd ed. **Neem Foundation**, Mumbai, India. P. 892. 2002.

SEEMAN, O.D.; BEARD, J.J. Identification of exotic pest and Australian native and naturalised species of *Tetranychus* (Acari: Tetranychidae). **Zootaxa**, p. 1-72, 2011.

SHETLAR, D. J. Spider Mites and Their Control. The State University of Ohio: Faculty of Food, Agricultural and Environmental Sciences. Department of Entomology, 2011. Disponível em: <https://ohioline.osu.edu/factsheet/HYG-2012-11>. Acessado em: 03/02/2021

SHIRKE, M.S.; JADHAV, R. G.; S.G. MAGDUM. Crop loss assessment to red spider mite in betelvine. **Annals of Plants Protection Sciences**, n. 16, p. 219-220, 2008.

SINGH, P.; SINGH, R.N. Comparative toxicity of Conventional and Novel Acaricides against the Vegetable Mite *Tetranychus neocaledonicus* André on Brinjal Crop. **Journal of AgriSearch**. v. 4, n. 2, p. 119-123, 2017.

SINGH, P.; SINGH, R. N. Evaluation of Acaricides and Botanicals Against the Vegetable Mite *Tetranychus neocaledonicus* Andre on Brinjal Crop Under Laboratory and FieldConditions. **Journal of Pure and Applied Microbiology**. v. 10, n. 4, 2021.

SILVA, C. A. D.; GONDIM JÚNIOR, M. G. C. First record and characteristics of damage caused by the spider mite *Tetranychus neocaledonicus* André on peanuts in the State of Paraíba. **Bragantia**, v.75, n. 3, p. 331-334, 2016.

SOLANGI, B. K.; SUTHAR, V.; SULTANA, F.; NADEEM, K. Effects of botanical pesticides against red spider mite *Tetranychus urticae* (KOCH) of okra crop. **Pakistan Journal of Entomology Karachi**. v. 30, n. 2, p.145-153, 2015.

STEINER, M. Y.; SPOHR, L. J.; GOODWIN, S. Impact of two formulations of the acaricide bifenazate on the spider mite predator *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae). **Australian Journal of Entomology**. v. 50, p. 99-105, 2011.

SUGAYAMA, R. L.; IEDE, E. T.; STANCIOLI, A.R. ALVES, G. A.; OLIVEIRA, I. M.; DIAS, J. A. Ameaças fitossanitárias. In: SUGAYAMA, R. L.; LOPES-DA-SILVA, M.; SILVA, S.X. de B.; RIBEIRO, L. R.; RANGEL, L. E. P. (Ed). Defesa Vegetal:

fundamentos, ferramentas, políticas e perspectivas. Belo Horizonte: **Sociedade Brasileira de Defesa Agropecuária**, p. 449-471, 2015.

TAVARES, M. A. G. C.; VENDRAMIM, J. D. Bioatividade da Erva-de-Santa-Maria, *Chenopodium ambrosioides* L., sobre *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 319-323, 2005.

TIRELLO, P.; POZZEBON, A.; CASSANELLI, S.; VAN LEEUWEN, T.; DUSO, C. Resistance to acaricides in Italian strains of *Tetranychus urticae*: toxicological and enzymatic assays. **Experimental and Applied Acarology**. v. 57, p. 53-64, 2012.

THORMAR, H. **Lipids and Essential Oils as Antimicrobial Agents**. John Wiley & Sons Ltd, London, p. 338, 2012.

VANICHPAKORN, P.; DING, W.; CEN, X. X. Insecticidal activity of five Chinese medicinal plants against *Plutella xylostella* L. larvae. **Journal of Asia-Pacific Entomology**. v.13, p. 169-173, 2010.

VENZON, M.; TOGNI, P. H. B.; PEREZ, A. L.; OLIVEIRA, J. M. Control of two-spotted spider mites with neem-based products on a leafy vegetable. **Crop Protection**, v.128, 2020.

VERONEZ, B.; SATO, M. E.; NICASTRO, R. L. Toxicidade de compostos sintéticos e naturais sobre *Tetranychus urticae* e o predador *Phytoseiulus macropilis*. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, v.47, n.4, p.511-518, 2012.

VIEGAS JR, C. V. Terpenos com atividade inseticida: uma alternativa para o controle químico de insetos. **Química Nova**, v. 3, p. 390-400, 2003.

ZHANG, Z.Q. **Mites of greenhouse: identification, biology and control**. Cabi, p. 235, 2003.

## CAPÍTULO I

### EFEITOS SUBLETAIS DE PRODUTOS À BASE DE NIM NA HISTÓRIA DE VIDA DO ÁCARO *Tetranychus neocaledonicus* (Acari: Tetranychidae).

#### RESUMO

Efeitos subletais de acaricidas naturais à base de nim se apresentam como uma importante alternativa no manejo sustentável do ácaro-praga *Tetranychus neocaledonicus*. Objetivou-se avaliar os efeitos subletais de dois acaricidas naturais à base de nim sobre *T. neocaledonicus* em feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.). Foram avaliados a sobrevivência, fecundidade e os parâmetros de tabela de vida de *T. neocaledonicus* submetidos à concentração letal 30 (CL<sub>30</sub>) de Azamax<sup>®</sup> e Nim-I-GO<sup>®</sup>. Os efeitos subletais foram avaliados pela aplicação da CL<sub>30</sub> dos produtos Azamax<sup>®</sup> e Nim-I-GO<sup>®</sup> em fêmeas recém emergidas, a sobrevivência e oviposição foram avaliadas diariamente. As fêmeas de *T. neocaledonicus* apresentaram uma sobrevivência média de 25,43; 28,35 e 29,20 dias para os tratamentos com Azamax<sup>®</sup>, testemunha e Nim-I-GO<sup>®</sup>, respectivamente; e sua longevidade variou entre 41-46 dias. Contudo, não foram observadas diferenças estatísticas na sobrevivência/longevidade em relação a testemunha. A fecundidade bruta foi afetada pelos tratamentos ao longo dos 10 primeiros dias, apresentando acumulado de 65,66; 57,18 e 47,6 ovos/fêmeas/10 dias para testemunha, Azamax<sup>®</sup> e Nim-I-GO<sup>®</sup>, respectivamente. A fecundidade líquida, por sua vez, foi afetada nos dois primeiros intervalos, dos 10 primeiros dias, e no intervalo de 10-20 dias. Na tabela de vida e fertilidade, a taxa líquida de reprodução (R<sub>0</sub>), a taxa intrínseca de crescimento (r<sub>m</sub>) e a razão finita de aumento (λ) foram reduzidas pela CL<sub>30</sub> de Azamax<sup>®</sup> e Nim-I-GO<sup>®</sup>, quando comparados com a testemunha. Azamax<sup>®</sup> e Nim-I-GO<sup>®</sup> apresentam efeitos subletais e afetam características da história de vida de *T. neocaledonicus*, acarretando uma diminuição em quase todos os parâmetros de tabela de vida e fertilidade, porém, a sobrevivência/longevidade não foi afetada.

**Palavras-chave:** Azadiractina, produtos naturais, efeitos subletais, tetranychidae

## **SUBLETHALS EFFECTS OF NEEM BASED PRODUCTS ON LIFESTORY OF THE MITE *Tetranychus neocaledonicus* (Acari: Tetranychidae)**

### **ABSTRACT**

Sublethal effects of natural neem-based mites are an important alternative in the sustainable management of the pest mite *Tetranychus neocaledonicus*. The objective was to evaluate the sublethal effects of two natural neem-based mites on *T. neocaledonicus* in fava beans (*Phaseolus lunatus* L.). The survival, fertility and life table parameters of *T. neocaledonicus* were submitted to lethal concentration 30 (CL<sub>30</sub>) of Azamax<sup>®</sup> and Nim-I-GO<sup>®</sup>. The sublethal effects were evaluated by applying the LC<sub>30</sub> of the products (AZ, NG) to newly emerged females, whose survival and oviposition were evaluated daily. The females of *T. neocaledonicus* had an average survival of 25,43; 28,35 and 29,20 days for treatments with Azamax<sup>®</sup>, control (untreated) and Nim-I-GO<sup>®</sup>, respectively; and its longevity varied between 41-46 days. However, no statistical differences were observed in survival/longevity compared to control. Gross Fecundity was affected over the first 10 days the cumulative was affected by the treatments, with the accumulated amount being 65,66; 57,18 and 47,6 eggs/females/10 days for control, Azamax<sup>®</sup> and Nim-I-GO<sup>®</sup>, respectively. However, at intervals of 10-20 days and 20-30 days there was no statistical difference between treatments. Net fertility, in turn, was affected in the first two intervals, of the first 10 days, and in the interval of 10-20 days. In the fertility life table, the net reproductive rate ( $R_0$ ), the intrinsic rate of increase ( $rm$ ) and the finite rate of increase ( $\lambda$ ) were reduced by the CL<sub>30</sub> of Azamax<sup>®</sup> and Nim-I-GO<sup>®</sup>, when compared to the control. Azamax<sup>®</sup> and Nim-I-GO<sup>®</sup> have sublethal effects and affect traits in the life history of *T. neocaledonicus*, causing a decrease in almost all parameters of the life and fertility table, however, survival/longevity is not affected.

**Key words:** Azadirachtin, natural products, sublethal effects, tetranychidae.

## 1 INTRODUÇÃO

Em razão dos diversos problemas associados ao uso dos agrotóxicos convencionais, o uso de produtos alternativos no manejo de ácaros-praga tem se destacado dentre as práticas fitossanitárias (ISMAN, et al., 2010; MUSA et al., 2017). A utilização de produtos vegetais derivados da planta de nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) tem apresentado ao longo das últimas décadas resultados promissores quanto a sua atividade acaricida (SCHLESENER et al., 2013; SANTOS et al., 2017). A toxicidade se deve pela presença de um importante metabólito secundário, a azadiractina, o principal ingrediente de diversas formulações comercial (MORDUE; NISBET, 2000).

Produtos comerciais derivados do nim têm eficácia comprovada no manejo de diferentes espécies de ácaros fitófagos. O óleo de nim (Nim-I-Go®) apresentou toxicidade e repelência sobre o ácaro-da-leprose-dos-citros, *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939), sendo uma alternativa para o manejo desse ácaro (JUSTINIANO et al., 2009). Os produtos Natuneem® e Sempre Verde Killer Neem® apresentam seletividade, sendo mais prejudiciais ao ácaro fitófago, *Tetranychus urticae* (Koch, 1836) do que para o predador *Phytoseiulus macropilis* (Banks, 1904) (VERONEZ et al., 2012). Concentrações subletais do biopesticida NeemAzal-T/S, ainda que não tenham causado mortalidade, foram responsáveis por afetar a sobrevivência, fecundidade e o crescimento populacional de *T. urticae* (MARCIC; MEDO, 2015).

No campo, insetos e ácaros são expostos a concentrações letais, porém, também estão suscetíveis a concentrações subletais responsáveis por afetar parâmetros biológicos, comportamentais, fisiológicos e demográficos das pragas sobreviventes (DESNEUX et al. 2007; HAVASI et al. 2018). Muitos bioensaios demonstram a eficácia dos efeitos subletais no controle de ácaros-praga com a utilização de diferentes produtos, sejam sintéticos ou naturais (MARTINEZ-VILLAR et al. 2005; DUSO et al. 2008; MARCIC; MEDO, 2015).

Os efeitos subletais de acaricidas sobre a história de vida de ácaros, sobretudo da família Tetranychidae, têm sido amplamente estudados nos últimos anos (MARCIC; MEDO, 2015; FRANÇA et al., 2017; BOZHGANI et al., 2018; HAVASI et al 2018). Essa família tem grande importância econômica no meio agrícola, devido ao rápido desenvolvimento, fácil dispersão e colonização de seus representantes em diversos hospedeiros (MORAES; FLECHTMANN, 2008; GOMES-NETO et al., 2017).

O ácaro vermelho, *Tetranychus neocaledonicus* (André, 1933), vem se destacando pelo grande número de hospedeiros, chegando ao 'status' de praga primária em várias culturas no mundo (MIGEON; DORKELD, 2021; SINGH; SINGH, 2021). Esse ácaro foi relatado em Feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.), uma leguminosa de grande importância no Brasil, em especial na região Nordeste, sendo uma fonte alternativa de alimento e renda para a população (SANTOS et al. 2009). A alta densidade populacional e adaptabilidade, bem como as injúrias causadas, indicam que esse ácaro tem grande potencial de se tornar uma praga de importância econômica no Brasil. (GOMES-NETO et al., 2019). Visando um controle eficaz e genuinamente racional, é necessário avaliar o impacto completo de um acaricida, tornando-se assim importante a avaliação dos parâmetros da tabela de vida e fertilidade dos sobreviventes de aplicações passadas (STARK; BANKS, 2003). Contudo, ainda são inexistentes os estudos que avaliam efeitos subletais de produtos naturais à base de nim no ácaro *T. neocaledonicus*. Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar os efeitos subletais, tais como os efeitos sobre a sobrevivência, fecundidade e os parâmetros de tabela de vida, de dois acaricidas naturais à base de nim (Azamax® e Nim-I-GO®) sobre *T. neocaledonicus*.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Local de estudo**

Os bioensaios foram conduzidos no Laboratório de Entomologia, localizado no Departamento de Fitotecnia, setor de Fitossanidade da Universidade Federal do Piauí-UFPI, Campus Universitário Ministro Petrônio Portella em Teresina-PI.

As condições experimentais durante o estudo foram: temperatura de  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ , umidade relativa do ar de  $70\pm 10\%$  e fotofase de 12 h.

### **2.2 Criação de *Tetranychus neocaledonicus***

Plantas de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) variedade boca-de-moça foram cultivadas em casa de vegetação em vasos com capacidade para 2,8 L contendo solo arenoso e substrato (Basaplant) na proporção de 1:1. Aproximadamente 35 a 40 dias após o plantio, folhas foram coletadas e utilizadas para manutenção da criação dos ácaros no laboratório e também para realização dos experimentos. Foram realizadas

semeaduras de feijão-fava de forma escalonada a cada dez dias, para fornecer folhas durante toda a pesquisa.

A aquisição de *T. neocaledonicus* foi por meio de uma criação pré-estabelecida no Laboratório de Entomologia da UFPI. Para a criação em laboratório foram confeccionadas arenas em bandejas plásticas (17 cm de Ø e 3 cm de altura) contendo espumas de polietileno e papel filtro previamente umedecidos, onde foram acondicionadas folhas de feijão-fava com a face abaxial direcionada para cima. A margem da folha foi contornada com algodão embebido em água destilada com a finalidade de evitar a fuga dos ácaros, além de manter a umidade. As folhas foram trocadas de acordo com seu grau de deterioração, onde os ácaros foram transferidos de uma folha para outra com o auxílio de um pincel de pelo fino e sobrepondo folhas velhas da criação sobre folhas novas para que os ácaros pudessem migrar de uma para outra (adaptado de ESTEVES FILHO et al., 2013).

### **2.3 Acaricidas Botânicos**

Foram utilizadas duas formulações comerciais à base de nim: os concentrados emulsionáveis Nim-I-GO® (2000 ppm de Azadiractina e 2000 ppm de Karanjinina) e Azamax® (12 g/L de azadiractina). O Nim-I-GO® é composto por nim (*Azadirachta Indica* A. Juss), Karanja (*Pongamia glabra* Vent), extratos vegetais (Pimenta malagueta - *Capsicum frutescens* L., Artemísia - *Artemisia absinthium* L., Alho - *Allium sativum* L. e Anatto - *Bixa orellana* L.) e emulsionante natural. Todos os foram produtos foram adquiridos por meio de lojas de produtos fitossanitários naturais. Para cada produto, foram preparadas concentrações definidas por meio de testes preliminares.

### **2.4 Avaliação dos efeitos subletais na história de vida e crescimento populacional**

Fêmeas recém-emergidas com idade entre 0-24 h foram tratadas com a concentração subletal CL<sub>30</sub> dos produtos Azamax® e Nim-I-GO® (selecionados considerando a maior e menor toxicidade na CL<sub>50</sub>). Os discos foliares foram submersos nas soluções dos produtos com auxílio de pinça entomológica durante cinco segundos, secos em papel toalha por 30 minutos e então acondicionados na placa de Petri.

Foram utilizados 10 discos foliares, contendo 10 fêmeas cada. Após 24 h, fêmeas sobreviventes foram transferidas para discos não tratados, sendo uma fêmea

considera uma repetição. Os ácaros foram avaliados diariamente e tanto o número de fêmeas sobreviventes e ovos depositados foram contabilizados.

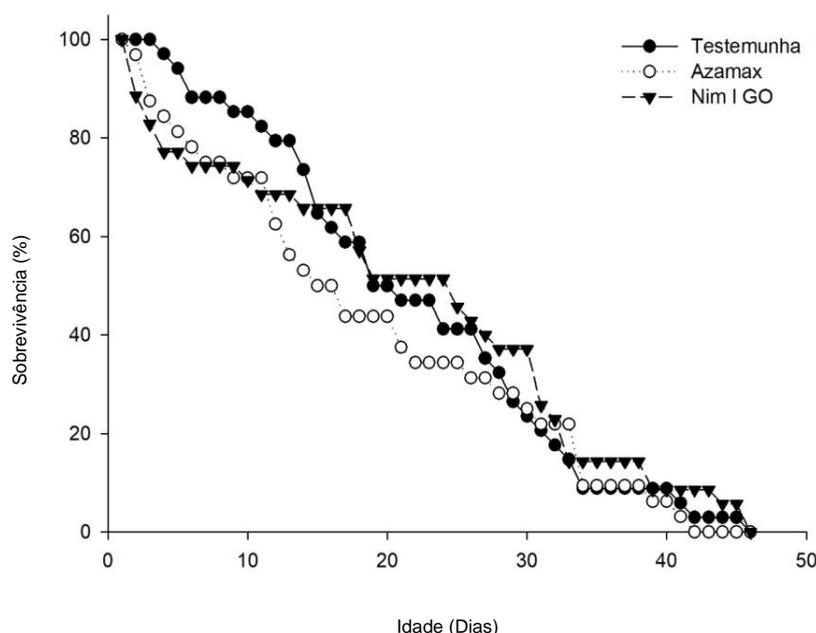
Fecundidade bruta (número de ovos depositados diariamente por fêmea em 24 h) e a fecundidade líquida (fecundidade bruta x taxas de sobrevivência de fêmeas) foram definidas e calculadas de acordo com MARCIC; MEDO (2015). Foi avaliada a sobrevivência diária, a longevidade, que foi medida pelo número médio de dias que a fêmea viveu após o tratamento, uma suposição sendo que as fêmeas morreram no ponto médio de cada intervalo de 24 h. A partir desses dados foram confeccionadas as tabelas de vida e fertilidade, calculando os valores de  $R_0$  (taxa líquida de reprodução),  $r_m$  (taxa intrínseca de crescimento populacional),  $\lambda$  (razão finita de aumento),  $T$  (duração média de uma geração) e  $DT$  (tempo para dobrar a população) informações fundamentais para a compreensão da dinâmica populacional de um organismo.

Todos os bioensaios de efeitos subletais foram realizados em delineamento inteiramente casualizado com 50 repetições para cada tratamento. A taxa média de sobrevivência foi determinada através dos dados de mortalidade; os dados foram submetidos ao teste de log-rank de acordo com o método de Kaplan-Meier para pares de tratamento usando o SAS ProcLifetest (SAS Institute, 2001.). Dados de fecundidade bruta e líquida foram submetidos (todo o período) e nos intervalos de 0-10dias; 10-20 dias e 20-30 dias que não atenderam às premissas de normalidade e homocedasticidade, portanto, ambos foram comparados pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, utilizando o programa estatístico SAS (SAS Institute, 2001). Os erros padrões dos parâmetros populacionais foram estimados utilizando o método de bootstrap. Cem mil bootstraps foram usados para obter estimativas estáveis de erros padrão. O teste de bootstrap pareado foi usado para comparar as diferenças (EFRON; TIBSHIRANI, 1993). O software TWOSEX-MSChart (Chi 2017) foi usado para análise dos dados brutos e cálculo dos parâmetros populacionais.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Efeitos subletais na história de vida e crescimento populacional de *T. neocaledonicus*

O ácaro *T. neocaledonicus* apresentou uma sobrevivência média de  $25,4 \pm 2,04$ ;  $28,3 \pm 1,97$  e  $29,2 \pm 2,06$  dias para os tratamentos com Azamax<sup>®</sup>, testemunha e Nim-I-GO<sup>®</sup>, respectivamente. Ácaros tratados com Nim-I-GO<sup>®</sup> e a testemunha apresentaram uma longevidade de aproximadamente 46 dias, já os tratados com Azamax<sup>®</sup> tiveram uma longevidade de aproximadamente 41 dias. Não houve diferença estatística na sobrevivência/longevidade de fêmeas adultas (Figura 1). Ainda que a sobrevivência/longevidade nesse estudo não tenha sido afetada, existem trabalhos com diversos produtos (químicos naturais e sintéticos) onde a sobrevivência/longevidade é afetada (MARTINEZ-VILLAR et al., 2005; YAMAKAWA et al., 2018; HONG et al., 2021).



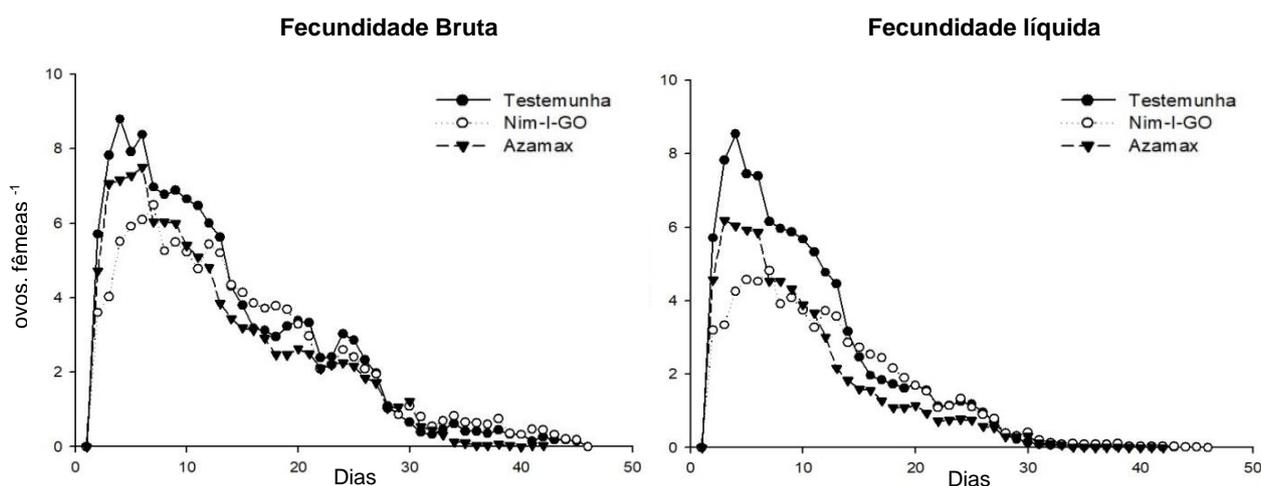
**Figura 1.** Sobrevivência por idade-específica de fêmeas de *Tetranychus neocaledonicus* tratados com a CL<sub>30</sub> de produtos à base de nim. Não houve diferença significativa entre as curvas de sobrevivência através do Teste de Log-Rank ( $\chi^2 = 1,58$ ,  $p = 0,4517$ ).

As maiores taxas de oviposição foram observadas nos 10 primeiros dias de vida adulta do ácaro, uma média superior a 6 ovos/dia/fêmea foi observada na testemunha, tendo sido superior às médias dos tratamentos, Nim-I-GO<sup>®</sup> 4,5 ovos/dia/fêmea e Azamax<sup>®</sup> 5,67 ovos/dia/fêmea. Não houve diferença estatística nas taxas de fecundidade ao longo da longevidade das fêmeas de uma forma geral, porém, diferença estatística pode ser observada analisando períodos isolados. Ao

longo dos 10 primeiros dias a fecundidade bruta acumulada foi afetada pelos tratamentos ( $\chi=10,01$ ;  $P<0,05$ ), sendo o acumulado de 65,66; 57,18 e 47,6 ovos/fêmeas/10 dias para testemunha, Azamax® e Nim-I-GO®, respectivamente. Entretanto, nos intervalos de 10-20 dias ( $\chi=10,01$ ;  $P<0,52$ ) e 20-30 dias ( $\chi=0,79$ ;  $P<0,67$ ) não houve diferença estatística entre os tratamentos. (Figura 2).

A fecundidade líquida de *T. neocaledonicus* foi afetada nos dois primeiros intervalos. Ao longo dos 10 primeiros dias ( $\chi=24,83$ ;  $P<0,0001$ ), sendo o acumulado de 60,56; 45,80 e 35,39 ovos/fêmeas/10 dias para testemunha, Azamax® e Nim-I-GO®, respectivamente e no intervalo de 10-20 dias ( $\chi=6,29$ ;  $P<0,04$ ), com valores de 29,00; 26,85 e 18,39 ovos/fêmeas/10 dias para testemunha, Nim-I-GO® e Azamax®, respectivamente. Entretanto no intervalo de 20-30 dias ( $\chi=1,36$ ;  $P<0,39$ ) a fertilidade líquida de *T. neocaledonicus* não foi afetada quando submetidos às concentrações subletais de produtos à base de nim.

Os produtos à base de nim, em determinados períodos, provou agir sobre as pragas causando deterrencia alimentar (HUMMELBRUNNER; ISMAN, 2001) e na oviposição (KOUL et al. 2008), reduzindo assim a fecundidade. Tais efeitos podem estar relacionando a deformações nos ovários (Desneux et al. 2007), no entanto, poucos estudos documentaram mecanismos potenciais de inibição da reprodução em pragas agrícolas.



**Figura 2.** Fecundidade bruta e líquida diária de fêmeas de *Tetranychus neocaledonicus* sobreviventes do tratamento com a CL<sub>30</sub> de produtos a base de nim.

A taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ) corresponde à contribuição média de cada fêmea para a geração seguinte, ou seja, o número de descendentes por fêmea. A duração média de uma geração ( $T$ ) foi de 16,53 (testemunha) e de 16,67 e 17,79 dias

para os ácaros tratados com Azamax<sup>®</sup> e Nim-I-Go<sup>®</sup>, respectivamente. Os parâmetros  $R_o$  e  $T$  influenciam diretamente na taxa intrínseca de crescimento ( $r_m$ ) que foi menor nos ácaros tratados com Nim-I-Go<sup>®</sup> ( $r_m = 0,24$ ) em relação a testemunha ( $r_m = 0.27$ ). A razão finita de aumento ( $\lambda$ ) representa um fator de multiplicação da população dentro de um intervalo de tempo e teve valores de 1,31; 1,29; 1,28, para a testemunha, Azamax<sup>®</sup> e Nim-I-Go<sup>®</sup>, respectivamente. (Tabela 1).

A  $CL_{30}$  de Nim-I-GO<sup>®</sup> reduziu a  $r_m$  e  $\lambda$  de *T. neocaledonicus* comparadas com a testemunha e Azamax<sup>®</sup>, contudo, causou um aumento de  $T$ . No entanto, o  $R_o$  não foi afetado pelos tratamentos (Tabela 1). Assim, observa-se que embora a sobrevivência não tenha sido afetada, traços da história de vida de *T. neocaledonicus* foram afetados pela  $CL_{30}$  do produto à base de nim Nim-I-GO<sup>®</sup> e não foram afetados pelo Azamax<sup>®</sup>.

Semelhante aos nossos resultados, *T. urticae* tratado com um azadiractina (Align<sup>®</sup>) afetou alguns parâmetros de tabela de vida, apresentando uma redução nos parâmetros  $\lambda$ ,  $T$  e  $r_m$  em relação a testemunha (MARTINEZ-VILLAR et al., 2005).

**Tabela 1.** Parâmetros populacionais (Média $\pm$ EP<sup>1</sup>) de *T. neocaledonicus* tratado com as  $CL_{30}$  dos produtos Azamax<sup>®</sup> e Nim I GO<sup>®</sup> em feijão fava. ( $T = 25 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $\text{RH} = 70 \pm 10\%$ , 12 h Fotoperíodo).

	$R_o$	$T$ (dias)	$r_m$	$\lambda$
Testemunha	90,96 $\pm$ 11,96a	16,53 $\pm$ 0,28b	0,27 $\pm$ 0,007a	1,31 $\pm$ 0,010a
Azamax <sup>®</sup>	70,98 $\pm$ 11,62a	16,67 $\pm$ 0,32b	0,25 $\pm$ 0,009a	1,29 $\pm$ 0,026a
Nim-I-GO <sup>®</sup>	81,62 $\pm$ 12,45a	17,79 $\pm$ 0,27a	0,24 $\pm$ 0,009b	1,28 $\pm$ 0,011b

<sup>1</sup>EP = erro padrão.  $R_o$  = taxa líquida de reprodução.  $T$  = duração média de uma geração.  $r_m$  = taxa intrínseca de crescimento.  $\lambda$  = razão finita de aumento.

Baixas concentrações dos produtos causam baixa ou nenhuma mortalidade, porém, ainda sim causam efeitos nos indivíduos sobreviventes, como a redução do desenvolvimento, reprodução e nas próximas gerações dos ácaros (DESNEUX et al., 2007; HAVASI et al., 2018). A utilização da dose subletal ( $CL_{30}$ ) de produtos à base de nim (Azamax<sup>®</sup> e Bioneem<sup>®</sup>) foi responsável por causar uma diminuição na oviposição e na taxa instantânea de crescimento ( $r_i$ ) de *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) reduzindo seu crescimento populacional (BREDA et al., 2017). Concentrações subletais do produto NeemAzal- T/S também reduziram a fecundidade bruta e líquida de *T. urticae* ao longo dos 7 primeiros dias de vida adulta. (MARCIC; MEDO, 2015). Os resultados obtidos no presente estudo indicam que a  $CL_{30}$  do produto à base de nim Nim-I-GO<sup>®</sup> reduziu os parâmetros populacionais, embora não tenha apresentado reduções significativas na sobrevivência/longevidade. Azamax<sup>®</sup>

não afetou os tratamentos neste estudo. Uma possível hipótese é que isso pode ter ocorrido devido à presença de karanjinin na formulação do Nim-I-GO®

A eficiência dos produtos à base de nim no controle de pragas, bem como na seletividade aos inimigos naturais, dependem da dose e da formulação aplicada, bem como no conhecimento da população de pragas e de predadores no momento da aplicação (MOURÃO et al., 2004). Porém, ainda que não existam estudos sobre esses produtos em *T. neocaledonicus* e o impacto sobre seus inimigos naturais, acredita-se que com o manejo correto a utilização de concentrações subletais pode ser uma importante estratégia para integrar o controle desse ácaro.

#### 4 CONCLUSÃO

Azamax® e Nim-I-GO® apresentam efeitos subletais e afetam traços da história de vida de *T. neocaledonicus*, acarretando uma diminuição em quase todos os parâmetros de tabela de vida e fertilidade, porém, a sobrevivência/longevidade não é afetada.

Os produtos testados se apresentam como potenciais para o controle do ácaro fitófago *T. neocaledonicus* em *P. lunatus*, ainda que necessitem mais estudos para maiores esclarecimento sobre os efeitos subletais.

#### REFERÊNCIAS

BOZHGANI, N. S. S.; GHOBADI, H.; RIAHI, E. Sublethal effects of chlorfenapyr on the life table parameters of twospotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Systematic & Applied Acarology**, v.23, n. 7, p. 1342-1351, 2018.

BREDA, M. O.; OLIVEIRA, J. V.; ESTEVES FILHO, A. B.; BARBOSA, D. S. R.; SANTOS, A. A. Lethal and sublethal effects of pesticides on the management of *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae) on *Capsicum annum* L. **Pest Management Science**, v. 73, p. 2054-2062, 2017.

DESNEUX, N.; DECOURTYE, A.; DELPUECH, J. M. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annual Review of Entomology**, v. 52, p. 81-106, 2007.

DUSO, C., MALAGNINI, V., POZZEBON, A., CASTAGNOLI, M., LIGUORI, M. & SIMONI, S. Comparative toxicity of botanical and reduced-risk insecticides to Mediterranean populations of *Tetranychus* and *Phytoseiulus persimilis* (Acari Tetranychidae, Phytoseiidae). **Biological Control**, v. 47, p. 16–21, 2008.

ESTEVES FILHO, A. B.; OLIVEIRA, J. V.; TORRES, J. B.; MATOS, C. H. C. Toxicidade de espiromesifeno e acaricidas naturais para *Tetranychus urticae* Koch e

compatibilidade com *Phytoseiulus macropilis* (Banks). **Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 2675-2686, 2013.

FRANÇA, S. M. de; BREDA, M. O.; BARBOSA, D. R. S.; ARAUJO, A. M. N.; GUEDES, A. C. The Sublethal Effects of Insecticides in Insects. In: SHIELDS, V. D. C. (Org). **Biological Control of Pest and Vector Insects**. Townson: IntechOpen, 2017. p. 23-39.

GOMES NETO, A. V.; SILVA, P. R. R.; MELO, J. W. S.; MELO JÚNIOR, L. C.; FRANÇA, S. M. Biology and life table of *Tetranychus neocaledonicus* on lima bean. **International Journal of Acarology**, v. 43, n. 8, p. 622-626, 2017.

GOMES-NETO, A. V.; SILVA, P. R. R.; SILVA, J. D. C.; SANTOS, M. F.; MELO, J. W. S.; FRANÇA, S. M. First record of mites associated with lima bean (*Phaseolus lunatus* L.). **Journal of Plant Protection Research**, v. 59, p. 418–422, 2019.

HAVASI, M.; KHERADMAND, K.; MOSALLANEJAD, H.; FATHIPOUR, Y. Sublethal effects of diflovidazin on life table parameters of two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae), **International Journal of Acarology**, v. 44, n. 2-3, p.15-120, 2018.

HONG, Y.; LI, X.; ZHANG, J. Evaluation on the effect of 14 miticides on controlling *Tetranychus urticae* of different populations. **Journal of Fruit Science**. v. 38, n. 1, p. 99-106, 2021

HUMMELBRUNNER, A. L.; ISMAN, M. B. Acute, sublethal, antifeedant and synergistic effects of monoterpenoid essential oil compounds on the tobacco cut worm (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of agriculture and Food Chemistry**. v. 49, p. 715-720, 2001.

JUSTINIANO, W.; PEREIRA, M. F. A.; AMORIM, L. C. S.; MACIEL, C. D. G. Eficiência do óleo de neem no controle do ácaro da leprose dos citros *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939). **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 39, n. 1, p. 38-42, 2009.

KOUL, O.; WALLIA, S.; HALIWAL, G. S. D. Essential oils as green pesticides: potential and constraints. **Biopesticides International**. v.4, n.1, p. 63-84, 2008.

KUMARI, S.; CHAUHAN, U.; KUMARI, A.; NADDA, G. Comparative toxicities of novel and conventional acaricides against different stages of *Tetranychus urticae* Koch (Acarina: Tetranychidae). **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**. v. 16, p. 191–196, 2015.

MAIA, A. H. N.; LUIZ, A. J. B.; CAMPANHOLA, C. Statistical inference on associated fertility life table parameters using jackknife technique: computational aspects. **Journal of Economic Entomology**. v. 93, n. 2, p. 511-518, 2000.

MARCIC, D.; MEDO, I. Sublethal effects of azadirachtin-A (NeemAzal-T/S) on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Systematic and Applied Acarology**, v. 20, p. 25-38, 2015.

- MARTINEZ-VILLAR, E.; SÁENZ-DE-CABEZÓN, F. J.; MORENO-GRIJALBA, F.; MARCO, V.; PEREZ-MORENO, I. Effects of azadirachtin on the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Experimental and Applied Acarology**, v. 35, p. 215–222, 2005.
- MIGEON, A. DORKELD, F. Spider Mites Web: a comprehensive database for the Tetranychidae. 2021. Disponível em: <http://www1.montpellier.inra.fr/CBGP/spmweb> Acessado em: 05/02/2021
- MORAES, G. J.; FLECHTMANN, C. H. W. Manual de acarologia: acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil. Ribeirão Preto: **Holos**, p. 288, 2008.
- MORDUE, A. J.; NISBET, A. J. Azadirachtin from the Neem Tree *Azadirachta indica*: its Action Against Insects. **Anais Da Sociedade Entomológica Do Brasil**. v. 29. n. 4. p. 615-632, 2000.
- MOURÃO, S.A.; SILVA, J.C.T.; GUEDES, R.N.C.; VENZON, M.; JHAM, G.N.; OLIVEIRA, C.L.; ZANUNCIO, J.C.; Seletividade de extratos de nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) ao ácaro predador *Iphiseiodes zuluagai* (Denmark & Muma) (Acari: Phytoseiidae). **Neotropiocal Entomology**, v. 33 p. 613-617, 2004.
- SANTOS, J. O.; ARAÚJO, A. S. F.; GOMES, R. L. F.; LOPES, A. C. A.; FIGUEIREDO, M. V. B. Ontogenia da nodulação em feijão-fava (*Phaseolus lunatus*). **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** v. 4, n. 4, p. 426-429, 2009.
- SANTOS, M. D.; MACIEL, A. G. S.; TRINDADE, R. C. P.; SILVA, E. S.; DUARTE, A. G. Eficiência do óleo de nim e do extrato pironim sobre o ácaro vermelho do tomateiro *Tetranychus evansi* Baker & Pritchard (Acari: Tetranychidae). **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 15, n. 2, p. 53-59, 2017.
- SAS Institute** - SAS. SAS/STAT User`s guide, version 8.2, TS level 2MO. Cary, N.C: SAS Institute. Inc., 2001.
- SCHLESENER, D. C. H.; DUARTE, A. F.; GUERRERO, M. F. C.; CUNHA, U. S.; NAVA, D. E. Efeitos do nim sobre *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) e os predadores *Phytoseiulus macropilis* (Banks) e *Neoseiulus californicus* (Mcgregor) (Acari: Phytoseiidae). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 1, p. 059-066, 2013.
- SINGH, P.; SINGH, R. N. Evaluation of Acaricides and Botanicals Against the Vegetable Mite *Tetranychus neocaledonicus* Andre On Brinjal Crop Under Laboratory and Field Conditions. **Journal of Pure and Applied Microbiology**. v. 10, n. 4, 2021.
- STARK, J. D.; BANKS, J.E. Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. **Annual Review of Entomology**, v.48, p.505–519, 2003.
- VERONEZ, B.; SATO, M. E.; NICASTRO, R. L. Toxicidade de compostos sintéticos e naturais sobre *Tetranychus urticae* e o predador *Phytoseiulus macropilis*. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, Brasília, v.47, n.4, p. 511-518, 2012.
- YAMAKAWA, S.; OHYAMA, K.; YAMORI, W.; SUZUKI, T. Effects of anoxia and hypoxia on the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Applied Entomology and Zoology**. v. 53, n. 4, p. 535-541, 2018.

## CAPÍTULO II

### EFEITOS LETAIS E SUBLETAIS DE ÓLEOS ESSENCIAIS NA HISTÓRIA DE VIDA DO ÁCARO *Tetranychus neocaledonicus* (Acari: Tetranychidae) NAS GERAÇÕES PARENTAL E F1

#### RESUMO

A utilização de óleos essenciais derivados de diversos grupos botânicos tem apresentado, ao longo das últimas décadas, resultados promissores quanto a sua atividade sobre ácaros. Desse modo, objetivou-se avaliar os efeitos letais sobre adultos e ovos e os efeitos subletais dos óleos essenciais de *Illicium verum*, *Eugenia caryophyllus* e *Cymbopogon flexuosus* sobre o ácaro *Tetranychus neocaledonicus*. Foram determinadas as concentrações letais e subletais através dos estudos de toxicidade. Também foi avaliada a repelência, sobrevivência, fecundidade e tabela de vida a partir de fêmeas sobreviventes a aplicações de concentrações subletais nas gerações parental e F1. As concentrações CL<sub>30</sub> a CL<sub>95</sub> obtidas foram 0,94 a 13,43 µl/mL para *I. verum*; 2,18 a 11,20 µl/mL para *C. flexuosus* e 1,23 a 9,29 µl/mL para *E. caryophyllus*. De acordo com os valores das CL<sub>50</sub> o tratamento com óleo essencial de *I. verum* foi o mais tóxico, seguido por *E. caryophyllus* e *C. flexuosus*. Os óleos essenciais ocasionaram uma redução da viabilidade de ovos de *T. neocaledonicus* em relação à testemunha, nas CL<sub>50</sub> e CL<sub>95</sub>. Uma inviabilidade de 100% dos ovos foi observada no tratamento com a CL<sub>95</sub> do óleo de *C. flexuosus*. Todos os produtos testados foram classificados como repelentes para fêmeas adultas de *T. neocaledonicus* e causaram deterrência na oviposição das mesmas. O tempo médio de sobrevivência de adultos de *T. neocaledonicus* submetidos a CL<sub>30</sub> foi de 22,8; 22,2; 22,4 e 24,7 dias para os tratamentos com *I. verum*, *E. caryophyllus*, *C. flexuosus* e testemunha, respectivamente. Todos apresentaram uma longevidade de proximadamente 37 dias. Não foram observadas diferenças na sobrevivência/longevidade das fêmeas adultas, contudo, na geração F1 a sobrevivência foi afetada no tratamento com *E. caryophyllus*. As maiores taxas de oviposição foram observadas nos 10 primeiros dias de vida adulta do ácaro, chegando a uma média de mais de 8 ovos/dia/fêmea, contudo, não foram observadas diferenças na oviposição total, na geração F1, o padrão de fecundidade foi mantido, porém, houve uma redução na fecundidade total em relação a geração parental. Os parâmetros de tabela de vida R<sub>0</sub> (taxa líquida de reprodução), r<sub>m</sub> (taxa intrínseca de crescimento) λ (razão finita de aumento) e T (duração média de uma geração) foram afetados na geração F1 quando comparados com a testemunha. Na geração parental houve maior T (duração média de uma geração) na testemunha, os demais parâmetros não foram afetados pelos óleos essenciais. Conclui-se que os óleos essenciais podem apresentar efeitos letais sobre adultos e ovos de *T. neocaledonicus* e ainda que não afetem a sobrevivência, reduzem a fecundidade da geração F1, afetando parâmetros de tabela de vida nessa geração.

**Palavras-chave:** *Illicium verum*, *Eugenia caryophyllus*, *Cymbopogon flexuosus*, toxicidade, tabela de vida e fertilidade, sobrevivência.

## LETHAL AND SUBLETHAL EFFECTS OF ESSENTIAL OILS ON THE LIFE HISTORY OF THE MITE *Tetranychus neocaledonicus* (Acari: Tetranychidae) IN PARENTAL AND F1 GENERATIONS

### ABSTRACT

The use of essential oils derived from various botanical groups has shown, over the last few decades, promising results in terms of their activity on mites. Thus, the objective was to evaluate the lethal effects on adults and eggs and the sublethal effects of essential oils of *Illicium verum*, *Eugenia caryophyllus* and *Cymbopogon flexuosus* on the mite *Tetranychus neocaledonicus*. Lethal and sublethal concentrations were determined through toxicity studies. The repellency, survival, fecundity, and life table from surviving females to applications of sublethal concentrations in the parental and F1 generations were also evaluated. The concentrations LC<sub>30</sub> to LC<sub>95</sub> obtained were 0.94 to 13.43 µl/mL for *I. verum*; 2.18 to 11.20 µl/mL for *C. flexuosus* and 1.23 to 9.29 µl/mL for *E. caryophyllus*. According to the LC<sub>50</sub> values, the treatment with *I. verum* essential oil was the most toxic, followed by *E. caryophyllus* and *C. flexuosus*. Essential oils reduced the viability of *T. neocaledonicus* eggs in relation to the control, in LC<sub>50</sub> and LC<sub>95</sub>. A non-viability of 100% of the eggs was observed in the treatment with LC<sub>95</sub> of *C. flexuosus* oil. All products tested were classified as repellents for adult females of *T. neocaledonicus* and caused deterrence in their oviposition. The mean survival time of *T. neocaledonicus* adults submitted to LC<sub>30</sub> was 22.8; 22.2; 22.4 and 24.7 days for treatments with *I. verum*, *E. caryophyllus*, *C. flexuosus* and control, respectively. All had a longevity of approximately 37 days. No differences were observed in the survival/longevity of adult females, however, in the F1 generation, survival was affected in the treatment with *E. caryophyllus*. The highest oviposition rates were observed in the first 10 days of adult life of the mite, reaching an average of more than 8 eggs/day/female, however, no differences were observed in total oviposition, in the F1 generation, the fertility pattern was maintained, however, there was a reduction in total fertility in relation to the parental generation. The life table parameters Ro (net reproduction rate), rm (intrinsic growth rate) λ (finite rate of increase) and T (average duration of a generation) were affected in the F1 generation when compared to the control. In the parental generation there was a higher T (average duration of one generation) in the control, the other parameters were not affected by essential oils. It is concluded that essential oils can have lethal effects on adults and eggs of *T. neocaledonicus* and even though they do not affect survival, they reduce the fecundity of the F1 generation, affecting life table parameters in this generation.

**Keywords:** *Illicium verum*, *Eugenia caryophyllus*, *Cymbopogon flexuosus*, toxicity, natural products, fertility life-table, survival

## 1 INTRODUÇÃO

Os óleos essenciais são provenientes do metabolismo secundários das plantas, sintetizados no citoplasma e nos plastídios, e obtidos principalmente através da hidrodestilação e destilação a vapor de partes das plantas aromáticas. Estes são constituídos principalmente por terpenos e fenilpropanoides, representando uma mistura complexa de ingredientes ativos que apresentam amplo espectro de atividades biológicas (ISMAN, 2000; CAMPOLO et al., 2018; GUEDES; CRUZ, 2018). Os óleos essenciais têm sido usados como acaricidas e inseticidas, atuando através de diversos modos de ação e reduzindo o desenvolvimento de resistência da população de pragas ao produto, sendo, portanto, elencados como uma alternativa promissora devido a sua disponibilidade mundial e custo-benefício satisfatório em muita das vezes (PAVELA, 2015; ZUZARTE; SALGUEIRO, 2015; BRITO, 2020).

Diversos estudos com óleos essenciais sugerem que esses produtos naturais representam uma fonte viável para o controle alternativo de ácaros, em especial sobre os representantes do gênero *Tetranychus* (ROH et al., 2013; MOHAMED et al., 2017). Os óleos essenciais de orégano (*Origanum onites* L.), tomilho (*Thymbra spicata* L.), lavanda (*Lavandula stoechas* L.) e menta (*Mentha spicata* L.) apresentam atividade acaracida sobre adultos de *Tetranychus cinnabarinus* Boisd. podendo ser úteis para o manejo de praga (SERTKAYA et al., 2010). Os óleos de *Callistemon viminalis* (Sol. ex Gaertn.) e *Origanum vulgare* L. sobre forma de nanoemulsões apresentam alta atividade acaricida sobre o ácaro rajado, *Tetranychus urticae* KOCH (BADAWY et al., 2018). Além da eficácia sobre os ácaros fitófagos, determinados óleos essenciais apresentam seletividade sobre ácaros predadores (Acari: Phytoseiidae) (MOMEN et al., 2014; ELHALAWANY; DEWIDAR, 2017). Os óleos essenciais também apresentaram efeitos subletais, responsáveis por afetar traços da história de vida, alterando a fecundidade/longevidade de ácaros tetraniquídeos (REZAEI et al., 2014).

A história de vida dos ácaros é afetada por concentrações subletais de acaricidas em geral, ocasionando alterações na longevidade, fertilidade, fecundidade, sobrevivência, oviposição, alimentação, parâmetros populacionais, além de causar efeitos comportamentais, como repelência (MARCIC; MEDO, 2015; FRANÇA et al., 2017; HAVASI et al 2018). Entretanto, poucos são os estudos sobre os efeitos subletais de óleos essenciais sobre espécies fitófagas.

A eficácia dos óleos essenciais e seus constituintes variam de acordo com o perfil fitoquímico do óleo e da praga alvo, sendo necessário um estudo individualizado

(REGNAULT-ROGER et al., 2012), o que ocasiona um crescente interesse sobre a toxicidade de óleos essenciais sobre ácaros. Entretanto, vale ressaltar, a necessidade em avaliar o impacto completo de um acaricida, não apenas seu efeito letal, mas considerar nessa perspectiva os parâmetros da tabela de vida e fertilidade dos sobreviventes às concentrações subletais, bem como nas gerações seguintes a fim de observar o impacto no fitness populacional em longo prazo de ácaros fitófagos e predadores (STARK; BANKS, 2003; SÁENZ-DE-CABEZÓN IRIGARAY; ZALOM, 2009; MARTINI et al. 2012; MARCIC; MEDO, 2015).

O ácaro vermelho, *Tetranychus neocaledonicus* André vem se destacando por apresentar elevado potencial biótico em diferentes hospedeiros. Esse ácaro é considerado como praga primária em várias culturas ao redor do mundo, devido ao rápido desenvolvimento, fácil dispersão e colonização de seus representantes nos mais diversos hospedeiros (GOMES-NETO et al., 2017; GOMES-NETO et al., 2019; MIGEON; DORKELD, 2021; SINGH; SINGH, 2021).

Entretanto, apesar do aumento crescente dos estudos com óleos essenciais e do impacto econômico que *T. neocaledonicus* pode ocasionar nas culturas ainda são inexistentes os estudos que avaliam efeitos subletais de óleos essenciais sobre esse ácaro. Dessa forma, objetivou-se avaliar os efeitos letais sobre adultos e ovos e os efeitos subletais dos óleos essenciais de *Illicium verum* Hook f., *Eugenia caryophyllus* (Sprengel) Büllock et Harrison e *Cymbopogon flexuosus* Stapf. sobre o ácaro *T. neocaledonicus*. A avaliação dos efeitos subletais foi através de estudos de repelência, sobrevivência, fecundidade e da construção da tabela de vida e fertilidade a partir de fêmeas sobreviventes (geração parental) a aplicações de concentrações subletais e de sua geração F1.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Local de estudo**

As condições experimentais durante o estudo foram: temperatura de  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ , umidade relativa do ar de  $70\pm 10\%$  e fotofase de 12 h.

### **2.2 Criação de *Tetranychus neocaledonicus***

Plantas de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* L.) foram cultivadas em casa de vegetação em vasos com capacidade para 2,8 L contendo solo arenoso e substrato (Basaplant<sup>®</sup>) na proporção de 1:1. Aproximadamente 35 a 40 dias após o plantio, as

folhas foram coletadas e utilizadas para manutenção da criação no laboratório e para realização dos experimentos. Foram realizadas semeaduras de forma escalonada a cada dez dias, para fornecer folhas durante toda a pesquisa. Arenas foram confeccionadas em bandejas plásticas (17 cm de Ø e 3 cm de altura) contendo espumas de polietileno e papel filtro previamente umedecidos, onde foram acondicionadas folhas de feijão-de-porco com a face abaxial direcionada para cima. A margem da folha foi contornada com algodão embebido em água destilada com a finalidade de evitar a fuga dos ácaros, além de manter a umidade. As folhas foram trocadas de acordo com seu grau de deterioração, onde os ácaros foram transferidos de uma folha para outra com o auxílio de um pincel de pelo fino e sobrepondo folhas velhas da criação sobre folhas novas para que os ácaros pudessem migrar de uma para outra (adaptado de ESTEVES FILHO et al., 2013).

## 2.3 Óleos Essenciais

Os óleos essenciais de *Illicium verum* Hook f., *Eugenia caryophyllus* (Sprengel) Büllock et Harrison e *Cymbopogon flexuosus* Stapf. foram obtidos na Ferquima® Industria e Comércio Ltda. (Vargem Grande Paulista, São Paulo, Brasil).

Os óleos essenciais foram extraídos a partir da destilação a vapor de frutas e sementes de *I. verum*, dos botões florais de *E. caryophyllus* e das folhas de *C. flexuosus*. Os principais compostos encontrados nesses óleos essenciais são Anetol, Eugenol e Citral, para *Illicium verum*, *Eugenia caryophyllus* e *Cymbopogon flexuosus*, respectivamente.

### 2.3.1 Análise Cromatográfica e Espectrometria de Massas.

Os óleos essenciais foram analisados por cromatografia a gás acoplada à espectrometria de massas em um sistema quadrupolo Agilent 5975C Series GC/EM (Agilent Technologies, Palo Alto, EUA), equipado com uma coluna apolar DB-5 (Agilent J&W; 60 m x 0.25 mm d.i., 0,25 µm espessura da película). A solução de 1 µL de concentração conhecida, contendo o óleo essencial diluído em hexano foi injetada em split 1:20, assim como a solução da mistura de padrões de hidrocarbonetos: C9-C34, sendo esta solução hexânica composta por padrões comerciais da Sigma-Aldrich®. A temperatura do GC foi ajustada em 60 °C por 3 min, sendo então aumentada em 2,5 °C min<sup>-1</sup> até alcançar 240 °C e mantida nesta temperatura por 10

min. O fluxo de hélio foi mantido em pressão constante de 100 kPa. A interface do EM foi definida em 200 °C e os espectros de massa registrados em 70eV (em modo EI) com uma velocidade de escaneamento de 0,5 scan-s de m/z 20-350. Os procedimentos descritos foram realizados no Laboratório de Química Fundamental na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

### **2.3.2 Identificação Química dos Óleos Essenciais**

A partir da obtenção dos tempos de retenção dos compostos na amostra do óleo essencial, no padrão de hidrocarboneto e na combinação do óleo essencial com a mistura deste padrão foi calculado o índice de retenção para cada componente do óleo. Os componentes dos óleos essenciais foram previamente identificados por similaridade dos valores dos índices de retenção e posteriormente confirmados por comparação dos respectivos espectros de massa com aqueles disponíveis na biblioteca do GC/EM: MassFinder 4, NIST08 e Wiley Registry™ 9th Edition e por fim, as áreas dos picos nos cromatogramas foram integradas para a obtenção do sinal iônico total e seus valores utilizados para determinar as proporções relativas respectivas a cada composto.

### **2.4 Toxicidade de óleos essenciais para fêmeas adultas de *T. neocaledonicus***

Arenas foram confeccionadas com discos foliares (3,5 cm de Ø) de feijão-deporco. Esses foram lavados com água destilada e secos em papel toalha. Após esse procedimento, foram acondicionados no interior de placas de Petri plásticas (55x15 mm) contendo esponja umedecida com água destilada, sobreposta por papel filtro. Os discos referentes aos tratamentos foram submersos nas soluções de óleos essenciais por 5 segundos, enquanto o grupo controle foi submerso em água destilada. Após a secagem, os discos foliares foram circundados com algodão umedecido, em seguida foram infestados com 10 fêmeas adultas de *T. neocaledonicus* (idade entre 4 a 5 dias) (adaptada de ESTEVES FILHO et al., 2013).

Para definir as concentrações utilizadas para o estabelecimento das concentrações letais de cada óleo, foram realizados testes preliminares. Foram testados, individualmente, os óleos essenciais nas concentrações 0,08; 0,4; 1,2; 2,4; 3,6; 5,2; 7,2 µl/mL para *C. flexuosus*; 0,04; 0,28; 1,2; 1,8; 3,2; 5,2 µl/mL para *I. verum* e 0,2; 1,2; 2,4; 3,2; 4,0; 4,8 µl/mL para *E. caryophyllus*. Utilizou-se DMSO (2%) como

emulsificante, para permitir a mistura entre o óleo e a água (foram realizados testes preliminares que comprovaram a não toxicidade do DMSO sobre o ácaro).

Os experimentos foram efetuados em delineamento inteiramente casualizado, constando de cinco repetições por tratamento. A mortalidade foi avaliada 48 h após a aplicação da solução, sendo considerados mortos os ácaros que não se moviam após um leve toque com pincel de pelo fino. As concentrações letais e subletais (CL<sub>30</sub>, CL<sub>50</sub> e CL<sub>95</sub>) foram calculadas para cada óleo através do PROC PROBIT do programa SAS (SAS Institute, 2001), e as razões de toxicidade (RT) foram calculadas, através da seguinte fórmula:  $RT = \text{maior CL}_{50} \text{ e/ou CL}_{95} \text{ dos acaricidas} / \text{menor CL}_{50} \text{ e/ou CL}_{95} \text{ dos demais}$ , individualmente (ESTEVES FILHO et al., 2013a).

## **2.5 Toxicidade de óleos essenciais para ovos de *T. neocaledonicus***

Arenas com discos foliares de feijão-de-porco foram montadas conforme descrita no item 2.4, onde foram liberadas cinco fêmeas adultas de *T. neocaledonicus* (idade entre 4 e 5 dias) durante 24 h para a obtenção de ovos. Em seguida, foram contabilizados 20 ovos por disco foliar e os demais, eliminados. Posteriormente, os discos foram submersos cuidadosamente na solução com os óleos essenciais com o auxílio de uma pinça entomológica. Os produtos testados foram os mesmos para avaliação de toxicidade, além de testemunha com água destilada para cada produto, utilizando-se a CL<sub>50</sub> e CL<sub>95</sub> estabelecida para fêmeas adultas de *T. neocaledonicus*. As arenas foram mantidas em estufa incubadora do tipo B.O.D (temperatura 25±2°C, umidade relativa 70±10% e Fotofase 12 h). Os experimentos foram efetuados em delineamento inteiramente casualizado e dez repetições por tratamento. A viabilidade dos ovos foi avaliada 120 h após a aplicação dos acaricidas, mediante a contagem do número de larvas eclodidas. Os resultados obtidos foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA), e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, pelo programa SAS (SAS Institute, 2001).

## **2.6 Atividade repelente de óleos essenciais sobre fêmeas adultas de *T. neocaledonicus***

Arenas foram confeccionadas em placas de Petri plásticas (150x15 mm) contendo espuma com 1 cm de espessura umedecida e recoberta com papel filtro. No centro de cada placa colocou-se uma lamínula de 18x18 mm, a fim de interligar dois discos de folha de feijão-de-porco (3,5 cm Ø cada), sendo um tratado com a solução

de óleo essencial e outro com água destilada (testemunha). Utilizou-se a CL<sub>50</sub> e CL<sub>95</sub> dos óleos essenciais de *I. verum*, *C. flexuosus* e *E. caryophyllus* e testemunha para cada produto. Os discos foliares foram submersos nas soluções dos produtos com auxílio de pinça entomológica durante cinco segundos, secos em papel toalha por 30 minutos e então acondicionados na placa de Petri. Em seguida, 10 fêmeas adultas de *T. neocaledonicus* (com idade entre 4 e 5 dias) foram liberadas sobre a lamínula. Cada óleo vegetal foi testado, separadamente em delineamento inteiramente casualizado constando de dois tratamentos e 10 repetições. Os bioensaios foram avaliados 48 h após a montagem, observando-se o número de ácaros e ovos presentes em cada disco. O número de ácaros atraídos foi comparado usando o Proc Freq do programa estatístico SAS e interpretado pelo teste de qui-quadrado ( $\chi^2$ ) (SAS Institute, 2001).

O Índice de Repelência (IR) foi calculado pela fórmula:  $IR = 2G / (G + P)$ , onde G = % de ácaros no tratamento e P = % de ácaros na testemunha. O intervalo utilizado para considerar se o tratamento é repelente ou não foi obtido utilizando-se a média do IR e seu desvio padrão (DP), ou seja, se a média do IR for menor que  $1 - DP$ , o óleo é repelente; se for maior que  $1 + DP$  o óleo é atraente e se estiver entre  $1 - SD$  e  $1 + SD$  o óleo é considerado neutro (MATOS et al., 2020). A porcentagem de repelência dos produtos foi calculada usando-se a fórmula adaptada de Obeng-Ofori (1995):  $PR = [(NC - NT) / (NC + NT) \times 100]$ , sendo PR= porcentagem de repelência; NC= número de ácaros atraídos na testemunha e NT= número de ácaros atraídos no tratamento. A figura do teste de repelência foi elaborada usando o programa SigmaPlot, versão 10.0.

O número de ovos contabilizados foi utilizado para calcular o índice de preferência para oviposição (IPO) por meio da expressão sugerida por Fenemore (1980):  $IPO = [(T-P)/(T+P)] \times 100$ , em que: T é o número de ovos contados nas arenas tratadas com óleo acaricida; P é o número de ovos contados as arenas não tratadas. O índice varia de +100 (muito estimulante) a -100 (total deterrência ou inibição de oviposição).

## **2.7 Efeitos subletais de óleos essenciais na história de vida e crescimento populacional de *T. neocaledonicus* nas gerações parental e F1**

No primeiro bioensaio, fêmeas recém-emergidas com idade entre 0-24 h foram acondicionadas em arenas confeccionadas em bandejas plásticas (17 cm de Ø e 3 cm de altura), contendo espumas de polietileno e papel filtro previamente umedecidos, onde foram acondicionados discos foliares tratados com a concentração subletal CL<sub>30</sub>

dos óleos essenciais *I. verum*, *C. flexuosus* e *E. caryophyllus* e testemunha. Foram utilizadas 100 fêmeas por arena, onde cada arena continha um tratamento. Após 24 h, fêmeas sobreviventes foram individualizadas. As fêmeas foram transferidas para arenas formadas por placas de Petri plásticas (55x15 mm) contendo esponja umedecida com água destilada, sobreposta por papel filtro e contendo discos foliares (3,5 cm de Ø) de feijão-de-porco não tratadas, sendo 1 fêmea/repetição. O delineamento utilizado foi o inteiramento casualizado, contendo quatro tratamentos e 50 repetições por tratamento. Foram avaliados diariamente o número de fêmeas sobreviventes, a quantidade diária de ovos e a longevidade.

No segundo bioensaio, utilizou-se ovos oriundos da oviposição das primeiras 24 h do primeiro bioensaio. Foi individualizado um ovo por arena (os demais ovos foram contabilizados e eliminados). Foram realizadas duas avaliações diárias na fase imatura com microscópio estereoscópico (7 e 19 h), onde observou-se período de incubação dos ovos, duração e viabilidade de cada fase imatura de desenvolvimento (larva, protocrisálida, protoninfa, deutocrisálida, deutoninfa e teliocrisálida). Ao atingirem a fase adulta adicionou-se um macho por 24 h para o acasalamento. Quando ocorreu a eclosão do macho foi observado apenas a longevidade. Na fase adulta, as avaliações foram a cada 24 h, onde registrou-se a duração dos períodos de fecundidade e longevidade. Durante cada avaliação, após a quantificação dos ovos, estes foram eliminados. O delineamento utilizado foi o inteiramento casualizado, contendo quatro tratamentos e 10 repetições por tratamento.

Fecundidade bruta (número de ovos por fêmea em 24 h) e a fecundidade líquida (Fecundidade Bruta x Taxas de Sobrevivência de Fêmeas) foram definidas e calculadas de acordo com Marcic e Medo (2015). A sobrevivência diária, a longevidade foi medida pelo número médio de dias que a fêmea vivia após o tratamento. A partir desses dados foram confeccionadas as tabelas de vida e fertilidade, calculando os valores de  $R_0$  (taxa líquida de reprodução),  $r_m$  (taxa intrínseca de crescimento populacional),  $\lambda$  (razão finita de aumento),  $T$  (duração média de uma geração) e  $DT$  (tempo para dobrar a população).

A taxa média de sobrevivência foi determinada através dos dados de mortalidade; os dados foram submetidos ao teste de log-rank de acordo com o método de Kaplan-Meier para pares de tratamento usando o SAS ProcLifetest (SAS Institute, 2001). Os erros padrões dos parâmetros populacionais foram estimados utilizando o método de bootstrap. Cem mil bootstraps foram usados para obter estimativas

estáveis de erros padrão. O teste de bootstrap pareado foi usado para comparar as diferenças (EFRON; TIBSHIRANI, 1993). O software TWOSEX-MSChart (Chi 2017) foi usado para análise dos dados brutos e cálculo dos parâmetros populacionais.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Identificação química dos óleos essenciais de *I. verum*, *E. caryophylla* e *C. flexuosus*.

No óleo essencial de *I. verum* os compostos trans-anetol, metil chavicol e <exo>isocitral representam maior percentual, com destaque para o fenilpropanoide trans-anetol representando 88,85% da constituição desse óleo. Os compostos eugenol, E-cariofileno e eugenol acetato são os principais constituintes do óleo essencial de *E. caryophyllus*, com destaque para o também fenilpropanoide eugenol com 74,31%. Para *C. flexuosus* destacam-se os monoterpenoides geranial e neral, os quais representam 38,44 e 29,80% da constituição desse óleo essencial, respectivamente (Tabela 1). Desse modo, os fenilpropanoides trans-anetol e eugenol podem ser responsáveis pela toxicidade dos óleos essenciais de *I. verum* e *E. caryophyllus* respectivamente. Enquanto em *C. flexuosus* os monoterpenos geranial e neral podem ser responsáveis pela toxicidade a *T. neocaledonicus*.

No presente trabalho, trans-anetol classe química (fenilpropanoide) foi o constituinte mais abundante de *I. verum*. A composição química de *I. verum* apresentou como compostos mais abundantes trans-anetol (91,0%) seguido por limoneno (4,1%) (PARK et al., 2016). Em outros estudos com *I. verum*, o trans-anetol também foi classificado como composto majoritário (TU et al., 2018; PANDIYAN et al., 2019). Para *Eugenia caryophyllus* 23 constituintes foram identificados, dentre eles o eugenol (76,8%), seguido por  $\beta$ -cariofileno (17,4%) como os componentes majoritários (JIROVETZ et al., 2006). Nossos resultados demonstram que os componentes eugenol e eugenol acetato foram majoritários para *E. caryophyllus*. O óleo essencial das folhas de *C. flexuosus* apresentaram geranial (43,1%), neral (33,1%) e limoneno (4,9%) como componentes principais (KOUNDAL et al., 2020). Na avaliação da composição química do óleo essencial de *C. flexuosus* aplicado a *T. neocaledonicus* neste trabalho, os componentes principais também foram geranial e neral, os quais representaram quase 70% da constituição desse óleo essencial.

É extremamente importante os estudos da toxicidade dos óleos essenciais sobre os artrópodes. Embora essas substâncias sejam geralmente ativas contra um

amplo espectro de pragas, a toxicidade interespecífica de óleos e compostos individuais é altamente idiossincrática (ISMAN, 2000). Nesse sentido, a investigação da composição dos óleos essenciais tem sido usada como um ponto de partida para o desenvolvimento de novos produtos com propriedades aperfeiçoadas para serem aplicados no controle de pragas (SPOCHACZ et al., 2018),

A toxicidade dos óleos essenciais em insetos e ácaros pode resultar de efeitos sobre o sistema nervoso, seja pela inibição da acetilcolinesterase (como exemplos a ação de monoterpenos) ou pelo antagonismo aos receptores da octopamina, bem como, podem afetar o sistema endócrino, atuando na inibição da síntese de quitina (KOSTYUKOVSKY et al., 2002; LÓPEZ; PASCUAL-VILLALOBOS, 2010; FRANÇA et al., 2017). Os compostos eugenol e trans-anetol são fenilpropanóides, diferenciando-se em sua estrutura apenas pelo fato de o primeiro possuir uma porção hidroxila, porém, ambos os compostos não estão presentes simultaneamente nos óleos essenciais de *E. caryophyllus* e *I. verum*, sugerindo um efeito isolado ou não sinérgico desses dois compostos em cada óleo essencial, já que ambos representam mais de 70% da constituição química desses óleos. Geranial e neral possivelmente causaram a mortalidade de *T. neocaledonicus* através da inibição da acetilcolinesterase por serem monoterpenos, porém ao contrário de *E. caryophyllus* e *I. verum* sugere-se a ação sinérgica desses compostos na toxicidade de *C. flexuosus*.

Tabela 1. Composição química dos óleos essenciais de *I. verum*, *E. caryophyllus* e *C. flexuosus*.

Nº	Componente	IR <sup>L</sup>	<i>I. verum</i>		<i>E. caryophyllus</i>		<i>C. flexuosus</i>	
			IR <sup>C</sup>	%	IR <sup>C</sup>	%	IR <sup>C</sup>	%
1	Triciclano	921	-	-	-	-	918	0,14
2	α-pineno	932	930	0,49	-	-	-	-
3	Camfeno	946	-	-	-	-	944	1,32
4	<6-metil-5-> Hepten-2-o	981	-	-	-	-	986	1,45
5	Mirceno	988	-	-	-	-	990	0,15
6	α-felandreno	1002	1002	0,31	-	-	-	-
7	<δ-3->careno	1008	1007	0,14	-	-	-	-
8	o-cimeno	1022	1023	0,07	-	-	-	-
9	Limoneno	1024	-	-	-	-	1026	0,37
10	β-felandreno	1025	1026	0,62	-	-	-	-
11	<(Z)-β-> Ocimeno	1032	-	-	-	-	1037	0,33
12	<(E)-β-> Ocimeno	1044	-	-	-	-	1048	0,18
13	Hexanoato de alila	1079	-	-	-	-	1072	1,11
14	Terpinoleno	1086	-	-	-	-	1086	0,05
15	Linalol	1095	1099	1,39	-	-	1099	1,63
16	<exo->Isocitral	1140	-	-	-	-	1145	0,09
17	<E-α->Necrodol	1144	-	-	-	-	1148	0,32
18	Citronelol	1148	-	-	-	-	1153	0,30
19	Z- Crisantenol	1160	-	-	-	-	1164	1,04
20	Terpinen-4-ol	1174	1176	0,15	-	-	-	-
21	E-Isocitral	1177	-	-	-	-	1182	1,15
22	α-terpineol	1186	1189	0,12	-	-	1189	0,18
23	Metil chavicol	1195	1197	5,10	-	-	-	-
24	<n->Decanal	1201	-	-	-	-	1205	0,16
25	Citronelol	1223	-	-	-	-	1229	0,25
26	Neral	1235	-	-	-	-	1244	29,80
27	Z-anetol	1249	1253	0,18	-	-	-	-
28	Geraniol	1252	-	-	-	-	1257	7,10
29	Geranial	1264	-	-	-	-	1274	38,44
30	Trans-anetol	1282	1290	88,85	-	-	-	-
31	Eugenol	1356	-	-	1363	74,31	-	-
32	Ciclosativeno	1369	-	-	-	-	1367	0,14
33	α-língano	1373	-	-	-	-	1371	0,07
34	α-copaeno	1374	1376	0,08	1376	0,58	-	-
35	Acetato de Geraniol	1379	-	-	-	-	1383	5,44
36	β-Cubebeno	1387	-	-	-	-	1390	0,18
37	β-Elemeno	1389	-	-	-	-	1391	0,18
38	E-cariofileno	1417	1419	0,38	1420	5,85	1419	2,38
39	E-α-bergamoteno	1432	1436	0,46	-	-	-	-
40	α-humuleno	1452	-	-	1454	0,86	1453	0,24
41	Germacreno D	1480	-	-	-	-	1481	0,23
42	<epi->-Cubebol	1493	-	-	-	-	1494	0,17
43	Biciclogermacreno	1500	1496	0,14	-	-	-	-
44	β-bisaboleno	1505	1510	0,06	-	-	-	-
45	γ-Cadineno	1513	-	-	-	-	1514	1,94
46	Acetileugenol	1521	-	-	1529	13,91	-	-
47	δ-Cadineno	1522	-	-	-	-	1523	0,41
48	<(E)-γ->bisaboleno	1529	-	-	-	-	1532	0,21
49	Elemol	1548	-	-	-	-	1549	0,05
50	Oxido de Cariofileno	1582	-	-	1584	1,77	1583	0,69
51	Epóxido de Humuleno II	1608	-	-	1610	0,19	1610	0,06
52	Foeniculina	1677	1682	1,32	-	-	-	-
<b>Total</b>				<b>99,86</b>		<b>97,47</b>		<b>98,52</b>

IR<sup>L</sup> Índice de Retenção de Kratz da Literatura;IR<sup>C</sup> Índice de Retenção de Kratz Calculado;

% Porcentagem do composto

### 3.2 Toxicidade de óleos essenciais para fêmeas adultas de *T. neocaledonicus*

As curvas de concentração-mortalidade dos óleos essenciais demonstram uma variação nas toxicidades. O óleo essencial de *I. verum* (1,80µl/mL) foi o mais tóxico sobre adultos de *T. neocaledonicus*, seguido por *E. caryophyllus* (2,01µl/mL) e *C. flexuosus* (3,24µl/mL), considerando a CL<sub>50</sub>. Observou-se uma diferença entre os óleos de *I. verum* e *C. flexuosus*, considerando a CL<sub>50</sub>, os intervalos de confiança e as razões de toxicidade (Tabela 2).

A inclinação da reta de concentração-mortalidade apresentou valores que variaram de 1,88 a 3,05 (Tabela 2). Valores mais elevados de inclinação indicam que pequenas variações na concentração dos óleos promovem grandes variações na mortalidade. O modelo de Probit foi adequado para analisar os dados de concentração-mortalidade, com baixos valores de  $\chi^2$  (<5,0) e valores de *P* que variaram de 0,11 a 0,45. A reta é adequada para descrever a relação concentração-resposta, o que possibilitou as estimativas das concentrações letais para os óleos (Tabela 2).

Os óleos de *I. verum* e *E. caryophyllus*, que apresentam um efeito tóxico mais acentuado sobre *T. neocaledonicus*, possuem os fenilpropanoides trans-anetol e eugenol em sua composição, respectivamente. Geralmente, quando os fenilpropanoides estão presentes, eles ocorrem em quantidades significativas e tendem a ser os compostos majoritários (CARSON; HAMMER, 2011).

O óleo de *I. verum* apresentou toxicidade por contato a *Callosobruchus maculatus* Fabr. (Coleoptera: Chrysomelidae), com CL<sub>50</sub> de 9,62 µL/20 g (MATOS et al., 2020). Para *T. neocaledonicus* determinou-se CL<sub>50</sub> de 1,80 µL/mL, a qual se fazendo uma proporção entre peso e volume para comparação com a concentração letal determinada para *C. maculatus*, seriam utilizados 36 µL desse óleo essencial para ocasionar a mesma proporção de mortalidade, demonstrando que *T. neocaledonicus* é mais resistente que esse inseto praga de grão armazenado, portanto, sendo necessária uma maior quantidade de óleo para o controle desse ácaro.

Sendo trans-anetol o composto majoritário (88,95%) do óleo essencial de *I. verum*, podemos concluir que este isolado possivelmente é o responsável pela atividade tóxica observada sobre *T. neocaledonicus*. O trans-anetol apresenta atividade tóxica sob diversos insetos pragas, inibindo a acetilcolinesterase, o que pode

explicar sua toxicidade em diversos organismos (LOPEZ; PASCUAL-VILLALOBOS, 2014).

O óleo essencial de *E. caryophyllus* apresenta o fenilpropanóide eugenol como composto majoritário (74,31%), igualmente foi observado em óleos essenciais de *Indigofera suffruticosa* Mill (Fabaceae) (45,6%) e em *Syzygium aromaticum* Thun. var. Nelson (Myrtaceae) (78,5%), causando toxicidade sobre o ácaro *T. urticae*. (KHERADMAND et al., 2015; SILVA et al., 2019). O eugenol atua através do sistema octopaminérgico ativando receptores para octopamina, que é um neuromodulador. Sendo possível também confirmar a ação na motilidade e modos de ação que envolve o efeito sobre os ciclos bioquímicos dos artrópodes (ENAN, 2005; BAKKALI et al., 2008; LIMA et al., 2009).

O óleo essencial de *C. flexuosus* apresentam em sua composição os monoterpenos geranial (38,44%) e neral (29,80%) como os principais compostos. Os monoterpenos são as moléculas mais representativas, constituindo 90% dos óleos essenciais (BAKKALI et al., 2008). Os resultados para *C. flexuosus* demonstram uma possível associação entre os compostos majoritários, representando um efeito sinérgico.

O óleo de *C. flexuosus* apresentou  $CL_{50}$  de 1,8 mg/mL *Plutella xylostella* (KOUNDAL et al., 2020), essa concentração em proporção volume/volume seria de 1,8  $\mu$ L/mL, portanto, necessitou-se de uma concentração  $CL_{50}$  (3,24 $\mu$ L/mL) 1,8 vezes maior para *T. neocaledonicus*, demonstrando que esse ácaro também é mais resistente que esse lepidóptero.

No presente trabalho, a  $CL_{95}$  determinada para *T. neocaledonicus* (9,29  $\mu$ L/mL) representou uma concentração 1% (v/v) desse óleo essencial, demonstrando que em comparação com esse ácaro uma menor quantidade de óleo é necessária para promover mortalidade. De acordo com as comparações realizadas a respeito da toxicidade dos óleos essenciais utilizados nesse trabalho, a quantidade de óleo usada para promover um controle específico de um determinado organismo é variável de acordo com a espécie e no âmbito do controle de ácaros de importância agrícola como *T. neocaledonicus* é importante se realizar testes com esses produtos em campo, levando em consideração condições de luminosidade ou outros fatores climáticos.

As concentrações dos óleos na  $CL_{95}$  variaram entre 9,29 e 13,43  $\mu$ L/mL, contudo, devido à sobreposição dos intervalos de confiança, não existem diferenças dentre as concentrações. Na  $CL_{30}$  os óleos apresentaram um padrão de toxicidade

semelhante ao observado na CL<sub>50</sub>, variando entre 0,94 e 2,18µl/mL, onde observou-se uma diferença entre os óleos de maior e menor toxicidade, *I. verum* e *C. flexuosus*, respectivamente (Tabela 2).

A toxicidade de óleos essenciais sobre ácaros fitófagos, especialmente do gênero *Tetranychus*, vem sendo estudado nas mais diversas culturas. A atividade acaricida de óleos essenciais de orégano (*Origanum onites* L.), Tomilho (*Thymbra spicata* L.), lavanda (*Lavandula stoechas* L.) e menta (*M. spicata* L.) foi avaliada sobre adultos de *Tetranychus cinnabarinus* Boisd. as CL<sub>50</sub> foram de 0,69; 0,53; 2,29 e 1,83µl/mL, respectivamente. Esses óleos essenciais foram considerados como uma potencial alternativa no controle dessa praga (SERTKAYA et al., 2010).

Óleos essenciais de plantas da família Myrtaceae como *Myrtus communis* L, *C. viminalis*, *Eucalyptus bicostata* Maiden, Blakely & Simmonds, *Eucalyptus maidenii* F. Muell., *Eucalyptus sideroxylon* A. Cunn. ex Woolls, *Eucalyptus approximans* Maiden, *Eucalyptus codonocarpa* Blakely & McKie. e *Eucalyptus dives* Schauer também apresentaram toxicidade a *T. urticae* (LIM et al., 2012, ROH et al., 2013; MOTAZEDIAN et al., 2016). Óleos essenciais provenientes de plantas aromáticas (*C. viminalis*, *E. approximans*, *E. bicostata*, *E. maidenii* e *E. sideroxylon*) apresentaram mortalidade em *T. urticae* de 67,8% até 100% da população de ácaros tratados com as concentrações de 0,5 e 1% dos óleos essenciais (ROH et al., 2011). O óleo de *E. caryophyllus* da qual a planta de extração pertence à família Myrtaceae apresentou potencial em toxicidade (CL<sub>50</sub> de 2,01µl/mL) a *T. neocaledonicus*, evidenciando o potencial acaricida das plantas dessa família em especial com relação a ácaros do gênero *Tetranychus*. O óleo de *I. verum* cuja planta pertence à família Schisandraceae também apresentou toxicidade a *T. neocaledonicus* (CL<sub>50</sub> 1,80 µl/mL), pois não houve diferença na toxicidade desses dois óleos, levando-se em consideração a comparação pelos intervalos de confiança da concentração letal CL<sub>50</sub>.

A toxicidade dos óleos essenciais está relacionada a sua natureza lipofílica, alta volatilidade, podendo ser inalados, ingeridos ou absorvidos pela cutícula dos ácaros, variando de acordo com a com a população-alvo e a grau de resistência aos produtos, acarretando disfunções bioquímicas (efeitos neurotóxicos, inibidores de crescimento e interferência na respiração) e mortalidade (LEE et al., 2004; LÓPEZ-PASCUAL-VILLALOBOS, 2010; ISMAN et al. 2011). O rápido início da toxicidade dos óleos essenciais ou seus constituintes em insetos e outros artrópodes aponta para um modo de ação neurotóxico (ISMAN; MACHIAL, 2006). Desse modo, provavelmente o

efeito tóxico a *T. neocaledonicus* a partir da utilização dos óleos essenciais de *I. verum*, *C. flexuosus* e *E. caryphyllus* deve ser a partir de uma atividade neurotóxica.

**Tabela 2.** Toxicidade dos óleos essenciais de *I. verum*, *C. flexuosus*, *E. caryophyllus* sobre *T. neocaledonicus*.

Óleo Essencial	GL	N	Inclinação ±EPM	CL <sub>30</sub> (IC95%)	RT <sub>30</sub>	CL <sub>50</sub> (IC95%)	RT <sub>50</sub>	CL <sub>95</sub> (IC95%)	RT <sub>95</sub>	$\chi^2$	P
<i>I. verum</i>	2	200	1,88±0,39	0,94 (0,47-1,31)	2,31	1,80 (1,29-2,25)	1,80	13,43 (7,82-46,61)	-	1,57	0,45
<i>C. flexuosus</i>	2	200	3,05±0,55	2,18 (1,50-2,67)	-	3,24 (2,65-3,74)	-	11,20 (8,32-20,39)	1,19	4,41	0,11
<i>E. caryophyllus</i>	3	250	2,47±0,33	1,23 (0,91-1,52)	1,77	2,01 (1,65-2,38)	1,61	9,29 (6,69-15,95)	1,44	4,53	0,20

GL= Grau de liberdade; N= Número de ácaros usados no teste; EPM= Erro padrão da média; IC= Intervalo de confiança; RT= Razão de Toxicidade;  $\chi^2$ = Qui-quadrado. P= Valor de probabilidade para o modelo de Probit.

### 3.3 Toxicidade de óleos essenciais para ovos de *T. neocaledonicus*

Os óleos essenciais de *I. verum*, *E. caryophyllus* e *C. flexuosus* ocasionaram uma redução da viabilidade de ovos de *T. neocaledonicus* em relação testemunha, nas CL<sub>50</sub> e CL<sub>95</sub>. As maiores taxas de inviabilidade de ovos de *T. neocaledonicus* foram ocasionadas pelos óleos de *I. verum* e *C. flexuosus* nas CL<sub>95s</sub>, causando uma inviabilidade de 91 e 100% dos ovos tratados, respectivamente (Tabela 3). Observou-se que quanto maior as concentrações dos óleos essenciais de *I. verum*, *E. caryophyllus* e *C. flexuosus* menor é a quantidade de ovos viáveis de *T. neocaledonicus*.

**Tabela 3.** Viabilidade de ovos (Média±EPM) de *T. neocaledonicus* tratados com a CL<sub>50</sub> e CL<sub>95</sub> dos óleos essenciais de *I. verum*, *C. flexuosus* e *E. caryophyllus*.

Óleo essencial	CL <sub>50</sub> (µl/ml)	Viabilidade de ovos tratados com a CL <sub>50</sub> (±EPM) (%)	CL <sub>95</sub> (µl/ml)	Viabilidade de ovos tratados com a CL <sub>95</sub> (±EPM) (%)
<i>I. verum</i>	1,80	13,0 ± 1,66 b	13,43	9,0 ± 1,80 c
<i>C. flexuosus</i>	3,24	25,0 ± 2,81 b	11,20	0 ± 0,0 c
<i>E. caryophyllus</i>	2,01	60,0 ± 2,64 b	9,29	39,0 ± 3,35 b
Testemunha	0,0	99,0 ± 0,20 a	0,0	100,0 ± 0,0 a

Poucos estudos têm sido conduzidos sobre os efeitos ovicidas de óleos essenciais, em especial sobre ácaros (BADAWY et al., 2010; SALMAN et al., 2015; MOHAMED et al., 2021)

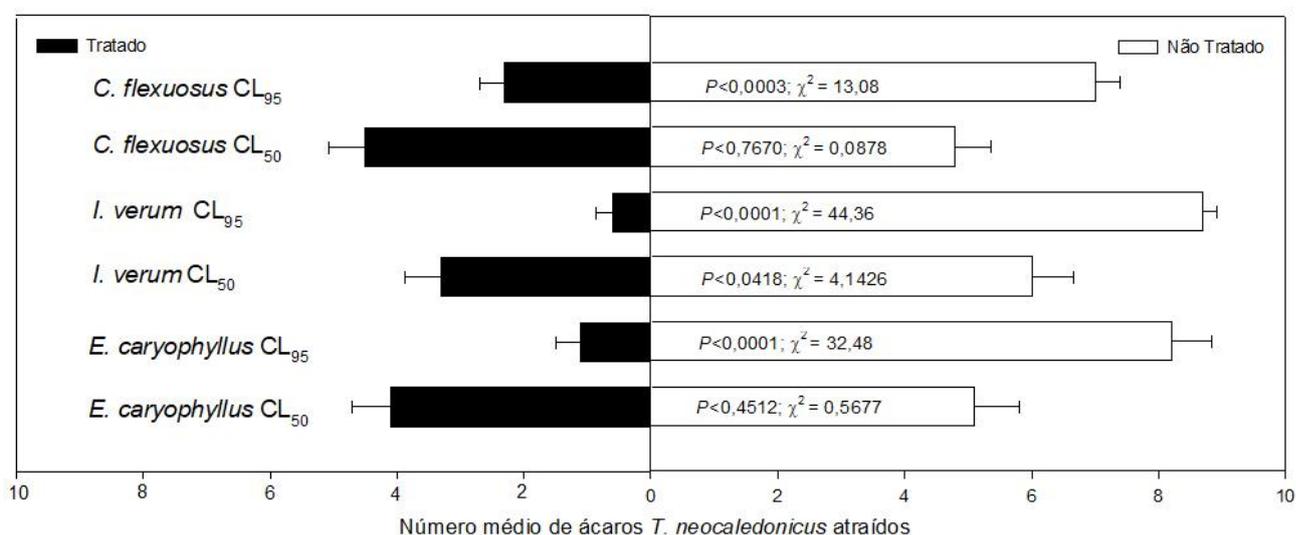
Óleos essenciais derivados de *Acorus calamus* L. (Acoraceae) na concentração de 10% apresentaram toxicidade sobre ovos de *Tetranychus truncatus* Ehara (Acari: Tetranychidae), inviabilizando 100% dos ovos tratados (JANLAOR; AUAMHAROEN, 2021). Uma inviabilização total dos ovos de *T. neocaledonicus* quando tratado com a CL<sub>95</sub> do óleo essencial de *C. flexuosus* foi observada nesse trabalho.

Óleos essenciais de *Carum carvi* L. (Apiaceae), *Cymbopogon nardus* (L.) Rendle (Gramineae), *Eucalyptus citriodora* Hook., (Myrtaceae), *Mentha pulegium* L., (Lamiaceae), *Mentha piperita* L., (Lamiaceae), e *Mentha spicata* L. (Lamiaceae) apresentaram efeitos contra ovos de *T. urticae* (CHOI et al., 2004). Esses resultados enfatizam alto potencial dos óleos essenciais no manejo de ácaros do gênero *Tetranychus*.

### 3.4 Atividade repelente e preferência para oviposição sobre fêmeas de *T. neocaledonicus*

O número de fêmeas adultas de *T. neocaledonicus* atraídas para discos foliares tratados com as CL<sub>95</sub> de *C. fluxuosus* ( $P < 0,0003$ ), *I. verum* ( $P < 0,0001$ ) e *E. caryophylla* ( $P < 0,0001$ ) foram menores quando comparados com os discos foliares não tratados, confirmando que os mesmos foram repelentes. Nas CL<sub>50</sub>s os óleos essenciais não ocasionaram diferença quando comparado a testemunha (Figura 1).

Devido às características aromáticas presente nos óleos essenciais das plantas, eles atuam como toxinas, impedindo a alimentação, sendo repelente, causando deterrência na oviposição ou até mesmo atraindo uma ampla variedade de insetos-praga (KOUL et al., 2008; SENDI; EBADOLLAHI, 2014).



**Figura 1.** Números de *Tetranychus neocaledonicus* (Média±EPM) (n = 600) em discos foliares de Feijão-de-porco tratados e não tratados com a CL<sub>50</sub> e CL<sub>95</sub> de óleos essenciais de *I. verum*, *C. flexuosus* e *E. caryophyllus*.

As propriedades repelentes a artrópodes de algumas espécies vegetais têm sido relatadas nas últimas décadas, com destaque para *Syzygium aromaticum* (L.) Merr et L. M. Perry (eugenol), *Mentha* spp. (pulegone, menthone, menthol) (PASCUAL-VILLALOBOS et al., 2017; KHERADMAND et al., 2015; ISMAN; MACHIAL, 2006). A CL<sub>25</sub> dos óleos de *S. aromaticum*, *M. spicata* and *Cuminum cyminum* L aplicados sobre *T. urticae* foram classificados como repelente e apresentaram os respectivos Índices de Repelência (IR), 0,36, 0,40 e 0,56. (KHERADMAND et al., 2015). Contrariamente, as CL<sub>50</sub>s do óleo de *C. paradisi* não exibiu atividade repelente em *C. maculatus*, sendo classificado como neutro (DUTRA et al., 2016), bem como os observados nas CL<sub>50</sub>s em nossos resultados.

O efeito repente dos óleos essenciais pode variar com as espécies de plantas, as concentrações utilizadas, as espécies de artrópodes estudados e seus diferentes estágios de desenvolvimento (NERIO et al., 2007; ISMAN et al., 2008; KHERADMAND et al., 2015; SALMAN et al., 2015; MOHAMED et al., 2017; MUSA et al., 2017; PASCUAL-VILLALOBOS et al., 2017), logo, se faz imprescindível o estudo individual em cada caso, além do mais, essas informações nos direcionam para a melhor forma de utilização desses óleos essenciais no manejo de artrópodes praga.

A porcentagem de repelência das CL<sub>50s</sub> dos óleos essenciais variou entre 3,38% e 28,05%, e apresentou os seguintes índices de repelência (IR): 0,96; 0,90 e 0,71 para *C. flexuosus*; *E. caryophylla*, *I. verum*, respectivamente. Nessa concentração todos os óleos testados foram classificados como neutros (Tabela 4). Por sua vez, quando observadas as CL<sub>95</sub> dos óleos essenciais, a porcentagem de repelência foi maior, chegando a 80%. Os índices de repelência (IR) apresentam os valores 0,49; 0,22 e 0,12 para *C. flexuosus*; *E. caryophylla*, *I. verum*, respectivamente. Todos os óleos foram classificados como repelentes (Tabela 4).

A diferença dos sistemas/receptores olfativos utilizados para processar diferentes informações químicas voláteis do ambiente (receptores de odor, proteínas receptoras gustativas específicas, receptores ionotrópicos, bem como recepção sensorial periférica e transdução de sinal) explicam, pelo menos em parte, as diferentes porcentagens de repelência observadas (REIS et al., 2016). Sendo o efeito repelente uma importante característica a ser considerada na escolha do óleo essencial.

**Tabela 4.** Porcentagem de repelência (%), índice de repelência ( $\pm$ EPM) e a classificação dos óleos essenciais de *I. verum*, *C. flexuosus* e *E. caryophyllus*.

Óleos essenciais	CL ( $\mu$ l/mL)	Porcentagem de repelência (%)	IR ( $\pm$ EPM)*	Classificação**
<i>E. caryophyllus</i> CL <sub>50</sub>	2,01	9,94%	0,90 $\pm$ 0,45	Neutro
<i>E. caryophyllus</i> CL <sub>95</sub>	9,29	77,27%	0,22 $\pm$ 0,25	Repelente
<i>C. flexuosus</i> CL <sub>50</sub>	3,24	3,38%	0,96 $\pm$ 0,38	Neutro
<i>C. flexuosus</i> CL <sub>95</sub>	11,20	50,88%	0,49 $\pm$ 0,25	Repelente
<i>I. verum</i> CL <sub>50</sub>	1,80	28,05%	0,71 $\pm$ 0,43	Neutro
<i>I. verum</i> CL <sub>95</sub>	13,43	80,0%	0,12 $\pm$ 0,16	Repelente

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

As CL<sub>50</sub> e CL<sub>95</sub> dos óleos essenciais *C. flexuosus*; *E. caryophylla* e *I. verum* apresentaram efeito deterrente de oviposição sobre *T. neocaledonicus* (Tabela 5). De acordo com o índice de preferência para oviposição (IPO) todos os óleos nas CL<sub>50</sub> e CL<sub>95</sub> diminuíram a oviposição do ácaro, sendo classificados como, deterrentes. Entretanto, os óleos de *I. verum* e *E. caryophyllus* nas CL<sub>95s</sub>, apresentaram os maiores efeitos deterrentes (Tabela 5).

Diversos estudos com óleos essenciais apresentam efeitos deterrentes sobre a oviposição de artrópodes em geral, sobretudo ácaros. Diferentes concentrações dos óleos essenciais de *P. graveolens* e *G. procumbens* causaram uma deterrencia de até 100% sobre a oviposição do *T. urticae* (MOHAMED et al., 2017). O óleo de *Mentha pulegium* diminui a oviposição das fêmeas de *T. urticae*, causando até 80% da inibição da oviposição (MOZAFFARI et al., 2013). A inibição de oviposição tem importante papel na defesa da planta contra pragas, diminuindo a densidade populacional e a consequente redução de injúrias sobre as plantas ou grãos, podendo ser aplicados em modelos de manejo integrado de pragas em agroecossistemas (ISMAN et al., 2008; DUTRA et al., 2016; KUMARI; KAUSHIK, 2016).

**Tabela 5.** Número de ovos (Média±EPM), Índice e classificação de preferência para oviposição de *T. neocaledonicus* obtidos em feijão-de-porco tratados e não tratados com óleos essenciais de *I. verum*, *C. flexuosus* e *E. caryophyllus*.

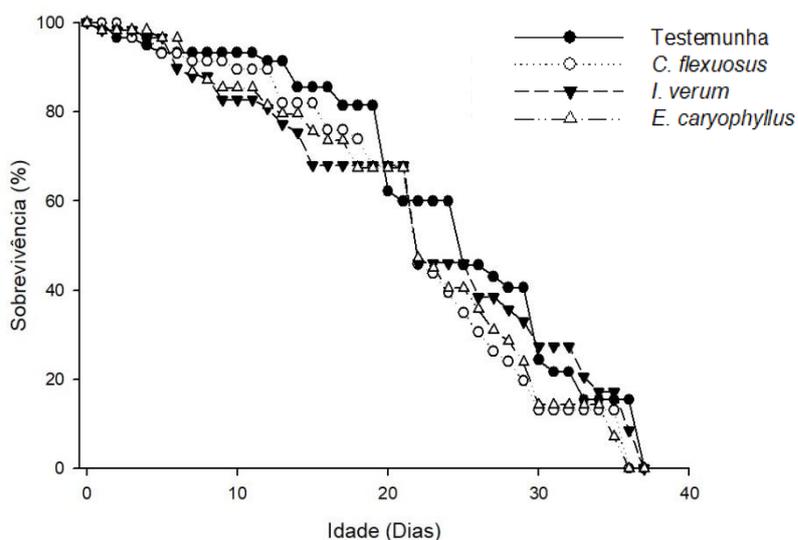
ÓLEOS ESSENCIAIS	CL (µl/mL)	Número de ovos (Média ± EP)		IPO <sup>1</sup>	Classificação
		Testemunha	Tratamento		
<i>E. caryophyllus</i> CL <sub>50</sub>	2,01	25,6±6,93	15±4,25	- 28,20	Deterrente
<i>E. caryophyllus</i> CL <sub>95</sub>	9,29	55,7±8,71	3,9±2,05*	- 87,30	Deterrente
<i>C. flexuosus</i> CL <sub>50</sub>	3,24	21,3±5,69	17±3,87	-17,03	Deterrente
<i>C. flexuosus</i> CL <sub>95</sub>	11,20	41,7±3,56	5,6±2,01*	-76,92	Deterrente
<i>I. verum</i> CL <sub>50</sub>	1,80	28,1±6,67	13,6±3,77	-36,61	Deterrente
<i>I. verum</i> CL <sub>95</sub>	13,43	59,6±8,34	2,7±1,49*	-88,90	Deterrente

<sup>1</sup>IPO – Índice de Preferência para oviposição [(T-P/T+P)] x 100. IPO varia de 100 para mais estimulante, zero para neutro e -100 para total deterrencia. \*Significativo pelo teste t, a 5% de probabilidade.

### 3.5 Efeitos subletais de óleos essenciais na história de vida e crescimento populacional de *T. neocaledonicus* nas gerações parental e F1

A sobrevivência da geração parental de *T. neocaledonicus* foi de aproximadamente 22,8 ± 1,44; 22,2 ± 1,29; 22,4 ± 1,19 e 24,7 ± 1,28 dias nos tratamentos com *I. verum*, *E. caryophyllus*, *C. flexuosus* e na testemunha, respectivamente. A longevidade de *T. neocaledonicus* não foi afetada pelos óleos e

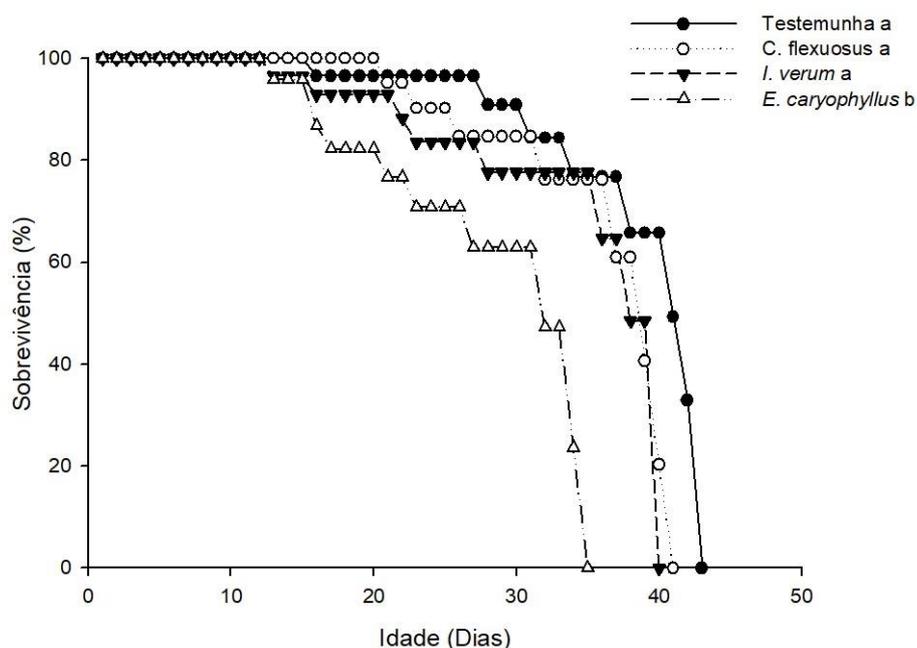
durou aproximadamente 37 dias. Contudo, não foram observadas diferenças estatísticas na sobrevivência/longevidade das fêmeas adultas (Figura 2). Concentrações subletais de óleos essenciais de *Aristolochia trilobata* L. e *Cinnamomum zeylanicum* Blume também não apresentam efeitos na sobrevivência de *T. urticae* adultas (MELO et al., 2018; REZAEI et al., 2014).



**Figura 2.** Sobrevivência por idade-específica de fêmeas de *T. neocaledonicus* tratados com a CL<sub>30</sub> de óleos essenciais (geração parental). Não houve diferença significativa entre as curvas de sobrevivência através do Teste de Log-Rank ( $\chi^2 = 2,83$ ,  $p = 0,41$ ).

A geração F1 de *T. neocaledonicus* apresentou uma sobrevivência de  $34,9 \pm 1,75$ ;  $28,7 \pm 1,75$ ;  $36,3 \pm 1,57$  e  $38,7 \pm 1,51$  dias para os tratamentos com *I. verum*, *E. caryophyllus*, *C. flexuosus* e testemunha, respectivamente (Figura 3). A aplicação da CL<sub>30</sub> do óleo essencial de *E. caryophyllus* nos parentais afetou a sobrevivência dos descendentes (geração F1) de *T. neocaledonicus* quando comparado com a testemunha e os demais óleos. A aplicação da CL<sub>30</sub> dos óleos essenciais *I. verum*, e *C. flexuosus* não afetaram os descendentes de *T. neocaledonicus* em relação à testemunha (Figura 3). Essa sobrevivência média apresenta valores superiores aos observados na primeira geração. A longevidade de *T. neocaledonicus* variou de 35 a 42 dias, e não foi afetada pelos óleos essenciais, em relação à testemunha.

A sobrevivência da geração parental de *T. neocaledonicus* não é afetada pelos óleos essenciais de *I. verum*, *E. caryophyllus*, *C. flexuosus*, entretanto o óleo *E. caryophyllus* afetou a geração F1.



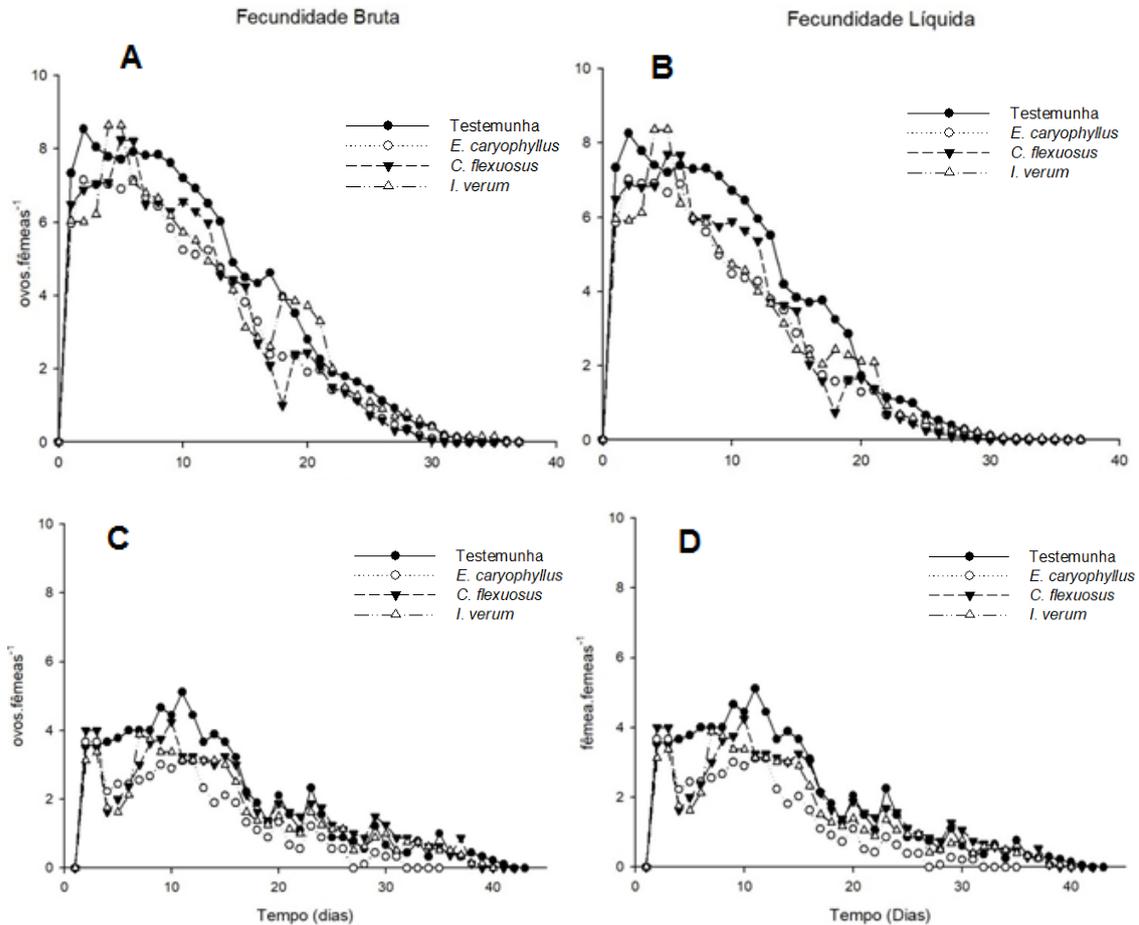
**Figura 3.** Sobrevivência por idade-específica da geração F1 de *T. neocaledonicus* sobreviventes ao tratamento com a CL<sub>30</sub> de óleos essenciais. Houve diferença significativa entre as curvas de sobrevivência de acordo com o Teste de Log-Rank ( $\chi^2 = 16,77$ ,  $p = 0,0008$ ).

As fecundidades bruta e líquida das gerações parental e F1 de *T. neocaledonicus* não foram afetadas pelas aplicações das CL<sub>30s</sub> dos óleos essenciais *I. verum*, *E. caryophyllus* e *C. flexuosus* (Figura 4 A-D). Ainda que muitos estudos demonstrem que os óleos essenciais reduzam a capacidade reprodutiva em *T. urticae*. (ROH et al., 2011; GHOLAMZADEH-CHITGAR et al. 2013; REZAEI et al., 2014; MELO et al., 2018).

Na geração F1 de *T. neocaledonicus* as maiores taxas de oviposição foram observadas nos 10 primeiros dias de vida adulta do ácaro, chegando a uma média de mais de 8 ovos/dia/fêmea. A geração F1 de *N. neocaledonicus* manteve um padrão de oviposição semelhante, porém, houve uma redução nas médias diárias de oviposição em relação à geração anterior. As maiores taxas de oviposição foram observadas nos 12 primeiros dias de vida adulta do ácaro, variando de 2 a 5 ovos/dia/fêmea (Figura 4 C-D).

Os óleos de *Piper aduncum* L, *Melaleuca leucadendra* L. e *Schinus terebinthifolius* Raddi quando aplicados por fumigação em concentrações subletais reduziram a fecundidade de *T. urticae* (ARAUJO et al., 2020). Bem como, foram observados efeitos na oviposição de *T. urticae*, causando uma redução de 89,3% no número de ovos em discos tratados com o óleo de *Santalum austrocaledonicum* Vieillard (ROH et al., 2011).

A diminuição da fecundidade pode ser causada por diversos fatores, tais como, deterrência alimentar, problemas em metabolizar/absorver nutrientes, alterações nas gônadas, desvio de requerimento nutricional para desintoxicação, dentre outros fatores (CRUZ et al., 2014; YAZDANI et al., 2013).



**Figura 4.** Fecundidade de *Tetranychus neocaledonicus* submetidas a aplicações a CL<sub>30</sub> de óleos essenciais. (A) Fecundidade bruta e (B) Fecundidade líquida diária de fêmeas da geração parental; (C) Fecundidade bruta e (D) Fecundidade líquida diária de fêmeas da geração F1.

Os parâmetros populacionais de tabela de vida e fertilidade de *T. neocaledonicus* foram afetados quando submetidos a CL<sub>30</sub>s dos óleos essenciais de *C. flexuosus*, *E. caryophyllus* e *I. verum* e esses impactos perduraram sobre seus descendentes (geração F1) (Tabela 6). Os óleos de *I. verum*, *C. flexuosus* e *E. caryophyllus* ocasionaram uma redução na duração média de geração (T) na geração parental de *T. neocaledonicus*, em relação a testemunha. Os demais parâmetros não foram afetados (Tabela 6).

A CL<sub>30</sub> dos óleos essenciais *I. verum* e *E. caryophyllus* afetaram parâmetros da tabela de vida da geração F1 de *T. neocaledonicus*, entretanto cada óleo afetou

parâmetros diferentes. O óleo de *I. verum* afetou  $r_m$ ,  $T$  e  $\lambda$ , enquanto que o de *E. caryophyllus* afetou a  $R_o$ . Entretanto o óleo de *C. flexuosus* não afeta os parâmetros de tabela de vida da geração F1 de *T. neocaledonicus*, quando comparados com a testemunha (Tabela 6).

**Tabela 6.** Parâmetros populacionais (Média $\pm$ EP<sup>1</sup>) de *T. neocaledonicus* por sucessivas gerações, após a aplicação das CL<sub>30</sub> de Óleos Essenciais de *I. verum*, *C. flexuosus* e *E. caryophyllus*.

Tratamentos	Geração Parental			
	$R_o$	T (dias)	$r_m$	$\lambda$
Testemunha	108,58 $\pm$ 10,84a	16,06 $\pm$ 0,17a	0,29 $\pm$ 0,006a	1,33 $\pm$ 0,008a
<i>C. flexuosus</i>	99,74 $\pm$ 8,66a	14,95 $\pm$ 0,15b	0,30 $\pm$ 0,005a	1,36 $\pm$ 0,007a
<i>E. caryophyllus</i>	99,30 $\pm$ 8,92a	14,95 $\pm$ 0,16b	0,30 $\pm$ 0,005a	1,36 $\pm$ 0,008a
<i>I. verum</i>	101,62 $\pm$ 9,99a	15,41 $\pm$ 0,20b	0,29 $\pm$ 0,006a	1,34 $\pm$ 0,008a
	Geração F1			
	$R_o$	T (dias)	$r_m$	$\lambda$
Testemunha	77,0 $\pm$ 10,01a	16,69 $\pm$ 0,28b	0,26 $\pm$ 0,009a	1,29 $\pm$ 0,012a
<i>C. flexuosus</i>	60,20 $\pm$ 11,18ab	17,38 $\pm$ 0,46ab	0,23 $\pm$ 0,012ab	1,26 $\pm$ 0,01ab
<i>E. caryophyllus</i>	44,80 $\pm$ 10,63b	16,86 $\pm$ 0,40ab	0,23 $\pm$ 0,02ab	1,25 $\pm$ 0,059ab
<i>I. verum</i>	52,80 $\pm$ 9,27ab	17,78 $\pm$ 0,46a	0,22 $\pm$ 0,01b	1,24 $\pm$ 0,01b

<sup>1</sup>EP = erro padrão.  $R_o$  = taxa líquida de reprodução.  $T$  = duração média de uma geração.  
 $r_m$  = taxa intrínseca de crescimento.  $\lambda$  = razão finita de aumento.

Os parâmetros de tabela de vida têm sido fortemente utilizados para estudar inseticidas sintéticos e os de origem natural sobre ácaros fitófagos e predadores, estudando os efeitos subletais, como a reprodução de sobreviventes e sobrevivência das progênes após exposição crônica a acaricidas (GHOLAMZADEH et al., 2013; MARCIC; MEDO, 2015; MUSA et al. 2017; SARBAZ et al., 2017). Fatores como o desenvolvimento, sobrevivência e fecundidade afetam os parâmetros de tabela de vida, de modo que estes parâmetros resumem as qualidades fisiológicas de um artrópode herbívoro em relação à sua capacidade reprodutiva (GOLIZADEH et al., 2017). A taxa intrínseca de crescimento ( $r_m$ ) é o principal parâmetro responsável por medir a dinâmica populacional, podendo ser atribuídas aos valores de oviposição e longevidade (AHMADPOUR et al., 2020).

O óleo de *Thymus vulgaris* L. possui efeitos subletais sobre *T. urticae*, uma vez que a CL<sub>50</sub> impactou os parâmetros da tabela, ocasionando redução em  $r_m$ ,  $R_o$ ,  $T$  e  $\lambda$  (GHOLAMZADEH-CHITGAR et al., 2013). A CL<sub>30</sub> dos óleos de *Artemisia annua* L. e *Rosmarinus officinalis* L. reduziram todos os parâmetros populacionais da tabela de

vida de *T. urticae* (ESMAEILI et al., 2017). Os parâmetros populacionais também foram afetados em *T. urticae* após o tratamento com uma formulação comercial contendo 25% de óleo essencial extraído de *Chenopodium ambrosioides near ambrosioides* (Requiem®EC) (MUSA et al. 2017).

Os parâmetros biológicos da geração F1 de *T. neocaledonicus* não foram afetados pelas concentrações subletais dos óleos essenciais de *C. flexuosus*, *E. caryophyllus* e *I. verum*. Ou seja, não afetaram o período de incubação (ovo), os períodos de desenvolvimento larval, protocrisalida, protoninfa, deutocrisalida, deutoninfa e ovo-adulto dos descendentes de *T. neocaledonicus* que receberam a aplicação dos produtos (Tabela 7).

O tempo de duração (dias) do ciclo de vida da geração F1 de *T. neocaledonicus* sobreviventes ao tratamento com as CL<sub>30</sub> dos óleos essenciais de *E. caryophyllus*, *C. flexuosus*, *I. verum* e testemunha foram de  $9,20 \pm 0,15$ ,  $9,25 \pm 0,17$ ,  $9,39 \pm 0,28$  e  $8,89 \pm 0,11$ , respectivamente. Ainda que na testemunha tenha se observado um desenvolvimento mais rápido, não foram observadas diferenças estatísticas nesse parâmetro, bem como nos demais períodos de desenvolvimento imaturo (Tabela 7).

As estimativas das doses letais são limitadas quando a previsão dos impactos de acaricidas. Os estudos toxicológicos demográficos ou construção das tabelas de vida é uma abordagem mais confiável para a avaliação da toxicidade desses acaricidas; pois mostram seus efeitos sobre os sobreviventes, fornecendo uma medida do impacto na população, da taxa de crescimento em especial no contexto demográfico (STARK; BANKS, 2003; GHOLAMZADEH-CHITGAR et al., 2013). Os óleos essenciais afetam traços da história de vida de *T. neocaledonicus* e os efeitos das concentrações subletais mesmo que aplicadas sobre os progenitores afetam os parâmetros populacionais e reprodutivos dos seus descendentes. Entretanto, observa-se que cada óleo afeta parâmetros populacionais e reprodutivos de forma diferente, sendo necessário esse estudo detalhado para cada óleo essencial antes de sua aplicação.

Dentre os óleos testados o de *I. verum* apresentou os mais eficientes efeitos letais, e subletais como repelência e na história de vida de *T. neocaledonicus*, sendo este óleo constituído principalmente pelo fenilpropanoide trans-anethol (88%). Podemos então inferir que esses componenetes podem ser a possível causa dos

efeitos letais e subletais desse óleo, mas se faz necessário estudos específicos com esses componentes isoladamente.

**Tabela 7.** Tempo de duração dos diferentes estágios de vida da segunda geração de *T. neocaledonicus* sobreviventes ao tratamento com as CL<sub>30</sub> de Óleos Essenciais de *I. verum*, *C. flexuosus*, *E. caryophyllus* em feijão de porco.

Óleos	Média De Duração (Dias) ± Erro Padrão <sup>1</sup>							
	Ovo	Larva	Protocrisalida	Protoninfa	Deutocrisalida	Deutoninfa	Teliocrisalida	Ciclo <sup>2</sup>
Testemunha	3,20 ± 0,13a	1,06 ± 0,15a	0,67 ± 0,11a	1,06 ± 0,10a	0,89 ± 0,07a	1,06 ± 0,05a	1,0 ± 0,12a	8,89 ± 0,11a
<i>E. caryophyllus</i>	2,95 ± 0,12a	1,30 ± 0,20a	1,05 ± 0,09a	0,90 ± 0,07a	0,95 ± 0,05a	1,05 ± 0,05a	1,0 ± 0,11a	9,20 ± 0,15a
<i>C. flexuosus</i>	3,30 ± 0,44a	1,31 ± 0,08a	0,69 ± 0,08a	1,06 ± 0,10a	1,0 ± 0,0a	1,06 ± 0,06a	1,13 ± 0,11a	9,25 ± 0,17a
<i>I. verum</i>	3,50 ± 0,39a	1,28 ± 0,11a	1,0 ± 0,16a	0,89 ± 0,11a	1,06 ± 0,05a	1,06 ± 0,06a	1,0 ± 0,0a	9,39 ± 0,28a

<sup>1</sup>EP = erro padrão. <sup>2</sup>Ciclo = período de duração de ovo a adulto. Não foram encontradas diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## 4 CONCLUSÕES

Os óleos essenciais de *Illicium verum*, *Eugenia caryophyllus* e *Cymbopogon flexuosus* apresentam toxicidade sobre ovos e fêmeas adultas de *T. neocaledonicus*, com destaque para o óleo de *I. verum* que apresentou a maior toxicidade sobre fêmeas e ovos na CL<sub>50</sub>.

Todos os óleos essenciais apresentam repelência sobre adultos e atuam como deterrentes na oviposição de *T. neocaledonicus*. O óleo de *I. verum* se destacou apresentando maior eficácia quanto aos efeitos repelentes/deterrentes.

A concentração subletal CL<sub>30</sub> dos óleos essenciais de *I. verum*, *C. flexuosus*, *E. caryophyllus* não afetam a sobrevivência e longevidade de *T. neocaledonicus*, nem os parâmetros biológicos de seus descendentes (geração F1). Porém, traços da história de vida como os parâmetros reprodutivos e populacionais, a sobrevivência e fecundidade são afetados nas gerações parental e F1, em especial pelo óleo essencial de *I. verum*.

## REFERÊNCIAS

- AHMADPOUR, R.; RAFIEE-DASTJERDI, H.; NASERI, B.; HASSANPOUR, M.; EBADOLLAHI, A.; MAHDAVI, V. Lethal and sublethal toxicity of some plant-derived essential oils in ectoparasitoid wasp, *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae). **International Journal of Tropical Insect Science**. v. 41, n. 3, p. 1-10, 2020.
- ARAUJO, M. J. C.; CAMARA, C. A. G.; BORN, F. S.; MORAES, M.M. Acaricidal activity of binary blends of essential oils and selected constituents against *Tetranychus urticae* in laboratory/greenhouse experiments and the impact on *Neoseiulus californicus*. **Experimental and Applied Acarology**. v. 80, p. 423-444, 2020.
- BADAWY, M. E. I.; EI-ARAMI, S. A. A.; ABDELGALEIL, S, A, M. Acaricidal and quantitative structure activity relationship of monoterpenes against the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. **Experimental and Applied Acarology**. v. 52, n. 3, p. 261-274, 2010.
- BADAWY, M. E. I.; ABDELGALEIL, S. A. M.; MAHMOUD, N. F.; MAREI, A. E. M. Preparation and characterizations of essential oil and monoterpene nanoemulsions and acaricidal activity against two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch). **International Journal of Acarology**. v. 44, n. 7, p. 330-340, 2018.
- BAKKALI, S.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D.; IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils. **Food and Chemical toxicology**. n. 46, p. 446-475, 2008
- BRITO, R. C. **Uso de óleos essenciais e  $\alpha$ -pineno no manejo de pragas de produtos armazenados e seus efeitos sobre a germinação do milho e feijão-caupi**. 159 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Agricultura Tropical), Universidade Federal do Piauí, 2020.
- CAMARA, C. A. G.; ARAUJO, C. A.; MORAES, M. M.; MELO, MELO, J. P. R.; LUCENA, M. F. A. New sources of botanical acaricides from species of *Croton* with potential use in the integrated management of *Tetranychus urticae*. **Boletín Latinoamericano y del caribe de plantas medicinales y aromáticas**. v. 20, n. 3, p. 244 – 259, 2021.
- CAMPOLO, O.; GIUNTI, G.; RUSSO, A.; PALMERI, V.; ZAPPALÀ, L. Essential oils in stored product insect pest control. **Journal of Food Quality**, v. 2018, 2018.
- CARSON, C. F.; HAMMER, K. A. Chemistry and bioactivity of essential oils. In: THORMAR, H. Lipids and essential oils as antimicrobial agents. **West Sussex: John Wiley & Sons**, 2011. Cap. 9, p. 203-238.
- CHOI, W.I.; LEE, S.G.; PARK, H.M.; AHN, Y.J. Toxicity of plant essential oils to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). **Journal of Economic Entomology**. v. 97, p. 553–558, 2004.
- ELHALAWANY, A. S.; DEWIDAR, A. A. Efficiency of Some Plant Essential Oils Against the Two-Spotted Spider Mite, *Tetranychus urticae* Koch and the Two Predatory Mites *Phytoseiulus persimilis* (A.-H.), and *Neoseiulus californicus*

(McGregor). **Egyptian Academic Journal of Biological Sciences**. v. 10, n. 7, p. 135-147, 2017.

ENAN, E. E. Molecular and pharmacological analysis of an octopamine receptor from American cockroach and fruit fly in response to plant essential oils. **Archives of Insect Biochemistry and Physiology**. v. 59, n. 3, p. 161-171, 2005

ESTEVEZ FILHO, A. B.; OLIVEIRA, J. V.; TORRES, J. B.; MATOS, C. H. C. Toxicidade de espiromesifeno e acaricidas naturais para *Tetranychus urticae* Koch e compatibilidade com *Phytoseiulus macropilis* (Banks). **Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 2675-2686, 2013.

ESMAEILI, M.; BANDANI, A.; ZIBAEI, I.; SHARIFIAN, I.; ZARE, S. Sublethal effects of artemisia annua L. and rosmarinus officinalis L. essential oils on life table parameters of *tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Persian journal of Acarology**, v. 6, n. 1, p. 39-52, 2017.

FRANÇA, S. M. de; BREDA, M. O.; BARBOSA, D. R. S.; ARAUJO, A. M. N.; GUEDES, A. C. The Sublethal Effects of Insecticides in Insects. In: SHIELDS, V. D. C. (Org). **Biological Control of Pest and Vector Insects**. Townson: IntechOpen, 2017. p. 23-39.

GHOLAMZADEH-CHITGAR. M.; KHOSRAVI, R.; JALALISENDI, J.; GHADAMYARI, M. Sublethal effects of *Thymus vulgaris* essential oil on life-table parameters of two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 46, n. 7, p.781-788, 2013.

GOLIZADEH, A.; GHAVIDEL, S.; RAZMJOU, J.; FATHI, S. A. A.; HASSANPOUR, M. Comparative life table analysis of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) on ten rose cultivars. **Acarologia**, v. 57, p. 607–616, 2017.

GOMES NETO, A. V.; SILVA, P. R. R.; MELO, J. W. S.; MELO JÚNIOR, L. C.; FRANÇA, S. M. Biology and life table of *Tetranychus neocaledonicus* on lima bean. **International Journal of Acarology**, v. 43, n. 8, p. 622-626, 2017.

GOMES-NETO, A.V.; SILVA, P.R.R.; SILVA, J.D.C.; SANTOS, M.F.; MELO, J.W.S.; FRANÇA, S.M. First record of mites associated with lima bean (*Phaseolus lunatus* L.). **Journal of Plant Protection Research**, v. 59, p. 418–422, 2019.

GUEDES, C. A.; CRUZ, G. A. Óleos essenciais e seu efeito sobre lepidópteros pragas. In: FRANÇA, S. M.; SILVA, P. R. R (Orgs).; **Inseticidas botânicos no manejo de pragas: um passo para a sustentabilidade agrícola**. Teresina: EDUFPI, p.172, 2018.

HAVASI, M.; KHERADMAND, K.; MOSALLANEJAD, H.; FATHIPOUR, Y. Sublethal effects of diflovidazin on life table parameters of two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **International Journal of Acarology**, v. 44, n. 2-3, p.15-120, 2018.

ISMAN, M. B. Plant essential oils for pest and disease management. **Crop Protection**. v.19, p. 603-608, 2000.

ISMAN, M.B.; MACHIAL, C.M. Pesticides based on plant essential oils: from traditional practice to commercialization. In: Rai, M., CARPINELLA, M.C. (Eds.), **Naturally Occurring Bioactive Compounds**. Elsevier B.V, p. 29-44, 2006.

ISMAN, M.B.; WILSON, J.A.; BRADBURY, R. Insecticidal activities commercial rosemary oils (*Rosmarinus officinalis*) against larvae of *Pseudaletia unipuncta* and *Trichoplusia ni* in relation to their chemical compositions. **Pharmaceut Biology**. v. 46, p. 82-87, 2008.

ISMAN, M. B. Botanical Insecticides in the Twenty-First Century-Fulfilling Their Promise? **Annual Review of Entomology**. v. 65, n. 1, p. 1-17, 2020.

JANLAOR, K.; AUAMHAROEN, W. Residual and Direct Contact Toxicities of Crude Extracts and Essential Oils from *Acorus calamus* L. (Acoraceae) Rhizomes against Cassava Red Mites (Acari: Tetranychidae). **Journal of Entomology Science**. v. 56, n. 2, p.185-197. 2021.

JIROVETZ, L.; BUCHBAUER, G.; STOILOVA, I.; STOYANOVA, A.; KRASTANOV, A.; SCHMIDT, E. Chemical composition and antioxidant properties of clove leaf essential oil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.54, n. 17, p. 6303-6307, 2006.

KHERADMAND, K.; BEYNAGHI, S.; ASGARI, S.; SHEYKHI GARJAN, A. Toxicity and repellency effects of three plant essential oils against two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Journal of Agricultural Science and Technology**. v.17, p. 1223-1232, 2015.

KOSTYUKOVSKY, M.; RAFAELI, A.; GILEADI, C.; DEMCHENKO, N.; SHAYYA, E. Activation of octopaminergic receptors by essential oil constituents isolated from aromatic plants: Possible mode of action against insect pest. **Pest Management Science**. v. 58, n. 11, p. 1101-1106, 2002.

KOUL, O.; WALIA, S.; DHALIWAL, G.S. Essential oils as green pesticides: Potential and constraints. **Biopesticides International**, v. 4, p. 63-84, 2008.

KOUNDAL, R.; DOLMA, S.K.; CHAND, G.; AGNIHOTRI, V.K.; REDDY, S.G.E. Chemical composition and insecticidal properties of essential oils against diamondback moth (*Plutella xylostella* L.). **Toxin Reviews**, v. 39, n. 4, p. 371-381, 2020.

KUMARI, A.; KAUSHIK, N. Oviposition Deterrents in Herbivorous Insects and their potential use in Integrated Pest Management. **Indian Journal of Experimental Biology**. v. 54, p. 163-174, 2016.

LABORDA, R.; MANZANO, I.; GAMON, M.; GAVIDIA, I.; BOLUDA, R.; PEREZ-BERMUDEZ, P. Spike Lavender Essential Oil Reduces the Survival Rate and Fecundity of Two-spotted Spider Mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Journal of Agricultural Science and Technology**. v. 20, p. 1013-1023, 2018.

LEE, B. H.; ANNIS, P.C; TUMAALII, D.; CHOI, W.S. Fumigant toxicity of essential oils from the Myrtaceae family and 1,8-cineole against 3 major stored-grain insects. **Journal of Stored Products Research**, v. 40, n. 5, p. 553-564, 2004.

- LIM, E.; LEE, B.H.; PARK, C.G. Fumigant activity of essential oils and their components from *Eucalyptus codonocarpa* and *E. dives* against *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) at three temperatures. **Journal of Applied Entomology**, v. 136, n. 9, p. 698-703, 2012.
- LIMA, S. G.; MOITA-NETO, J. M.; COSTA, J. G. M. D.; CITÓ, A. M. G. L.; REIS, F.A.M. Monoterpenes, sesquiterpenes and fatty acids from *Julocroton triqueter* (euphorbiaceae) from Ceará-Brazil. **Journal of Chilean Chemical Society**. v. 53, p. 1718-1720, 2009.
- 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.
- MARCIC, D.; MEDO, I. Sublethal effects of azadirachtin-A (NeemAzal-T/S) on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Systematic and Applied Acarology**, v. 20, p.25-38, 2015.
- MARTINI, X.; KINCY, N.; NANSEN, C. Quantitative impact assessment of spray coverage and pest behaviour on contact pesticide performance. **Pest Management Science**, v. 68, p. 1471–1477, 2012.
- MATOS, L. F.; BARBOSA, D. R. e S.; LIMA, E. da C.; DUTRA, K. de A.; NAVARRO, D. M. do A. F.; ALVES, J. L. R.; SILVA, G. N. Chemical composition and insecticidal effect of essential oils from *Illicium verum* and *Eugenia caryophyllus* on *Callosobruchus maculatus* in cowpea. **Industrial Crops and Products**, v.145, 2020.
- MELO, J. P. R.; CAMARA, C. A. G.; LIMA, G. S. L.; MORAES, M. M.; ALVES, P. B. Acaricidal properties of the essential oil from *Aristolochia trilobata* and its major constituents against the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*). **Canadian Journal of Plant Science**. v. 98, n. 6. p.1342-1348. 2018.
- MIGEON, A. DORKELD, F. Spider Mites Web: a comprehensive database for the Tetranychidae. 2021. Disponível em: <http://www1.montpellier.inra.fr/CBGP/spmweb>  
Acessado em: 05/02/2021
- MOHAMED, F. S. A.; AMER, S. A. A.; SAMMOUR, E. A.; ARWISH, Z. E. A.; HUSSEINH. E.; EL-DESOUKY, M. E. Efficiency of *Pelargonium graveolens* and *Gaultheria procumbens* Essential Oils and Their Formulations on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and Two Predatory Phytoseiid Mites. **International Journal of Agricultural Technology**, v. 13, n. 3, p. 433-446, 2017.
- MOHAMED, O.; ALAHYANE, H.; ABOUSSAID, H.; OUFDOU, K.; MESSOUSSI, S.; COSTA, J.; MAJIDI, L. Properties of Essential Oils from Moroccan Thyme Against Oriental Red Mite, *Eutetranychus Orientalis* (Klein) (Acari: Tetranychidae). **Journal of Essential Oil Bearing Plants**. v. 24, n. 2, 2001.
- MORAES, G. J.; FLECHTMANN, C. H. W. Manual de acarologia: acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil. Ribeirão Preto: **Holos**, p. 288, 2008.
- MOMEN, F.; ABDEL RAHMAN, H.; SAMOUR, E.; ALY, S.; FAHIM, S. Acaricidal activity of *Melissa officinalis* oil and its formulation on and the predatory mite *Neoseiulus californicus* (Acari: Tetranychidae and Phytoseiidae). **Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica**, v. 49, n. 1, p. 95-115, 2014.

- MOTAZEDIAN, N.; RAVA, S.; BANDANI, A.R. Toxicity and repellency effects of three essential oils against *tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 14, p. 275-284, 2012.
- MOZAFFARI, F.; ABBASIPOUR, H.; GARJAN, A. S.; SABOORI, A.; MAHMOUDVAND, M. Toxicity and Oviposition Deterrence and Repellency of *Mentha pulegium* (Lamiaceae) Essential Oils against *Tetranychus urticae* Koch (Tetranychidae). **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 16, n. 5, p. 575–581. 2013.
- MUSA, A.; MEDO, I.; MARIC, A.; MARCIC, D. Acaricidal and sublethal effects of a *Chenopodium*-based biopesticide on the two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae). **Experimental and Applied Acarology**, v. 71, p. 211–226, 2017.
- NERIO, L. S.; OLIVERO-VERBEL, J; STASHENKO, E. E. Repellent activity of essential oils from seven aromatic plants grown in Colombia against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera). **Journal of Stored Products Research**, v. 45, n. 3, p. 212-214, 2009.
- PANDIYAN, G.N.; MATHEW, N.; MUNUSAMY, S. Larvicidal activity of selected essential oil in synergized combinations against *Aedes aegypti*. **Ecotoxicology Environmental Safety**. v. 174, p. 549-556. 2019.
- PARK, C.G.; SHIN, E., KIM, J. Insecticidal activities of essential oils, *Gaultheria fragrantissima* and *Illicium verum*, their components and analogs against *Callosobruchus chinensis* adults. **Journal of Asia Pacific Entomology**, v.19, p.269-273, 2016.
- PASCUAL VILLALOBOS, M. J.; CANTÓ TEJERO, M.; VALLEJO, R.; GUIRÃO, P.; RODRÍGUEZ ROJO, S.; COCERO, M. J. Use of nanoemulsions of plant essential oils as aphid repellents. **Industrial Crops & Products**. v. 110, p. 45-57, 2017.
- PAVELA, R. Essential oils for the development of eco-friendly mosquito larvicides: a review. **Industrial crops and products**, v. 76, p. 174-187, 2015.
- 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.
- REIS, S. L.; MANTELLO, A. G.; MACEDO, J. M.; GELFUSO, E. A.; DA SILVA, C.P.; FACHIN, A.L.; CARDOSO, A.M.; BELEBONI, R.O. Typical monoterpenes as insecticides and repellents against stored grain pests. **Molecules**. v. 21, n.3, p. 258-268, 2016.
- REZAEI, R.; KARIMI, J.; ABBASIPOUR, H.; ASKARIANZADEH, A. Sublethal effects of essential oil of *Cinnamomum zeylanicum* Blume on life expectancy (ex) and age-specific fertility (mx) of two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 47, n. 8, p. 900-905, 2014.
- ROH, H. S.; LIM, E. G.; KIM, J.; PARK, C. G. Acaricidal and oviposition deterring effects of santalol identified in sandalwood oil against two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). **Journal of Pest Science**, v. 84, n. 4, p. 495-501, 2011.

ROH, H. S.; LEE B. H.; PARK, C. G. Acaricidal and repellent effects of myrtacean essential oils and their major constituents against *Tetranychus urticae* (Tetranychidae). **Journal of Asia-Pacific Entomology**. v. 16, n. 3, p. 245-249, 2013.

SABELIS, M.W., Reproductive strategies in spider mites: their biology, natural enemies and control. In: Helle, W., Sabelis, M.W. (Eds.), **World crop pests**, 1B. Elsevier, Amsterdam, pp. 265–278. 1985

SÁENZ-DE-CABEZÓN IRIGARAY, F.J.; ZALOM, F.G. Comparative repellent effects of different acaricide residues on predatory and spider mites. Is there a need for including behavior into standardized testing methods? **IOBC/wprs Bulletin**, v. 50, p. 95-98, 2009.

SALMAN, S. Y.; SARITAS, S.; KARA, N.; AYDINLI, F.; AY, R. Contact, Repellency and Ovicidal Effects of Four Lamiaceae Plant Essential Oils against *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). **Journal of Essential Oil Bearing Plants**. v. 18, n.4, p. 857-872, 2015.

SARBAZ S, GOLDASTEH S, ZAMANI AA, Solymannejadiyan E, Shoushtari RV. Side effects of spiromesifen and spiroadiclofen on life table parameters of the predatory mite, *Neoseiulus californicus* McGregor (Acari: Phytoseiidae). **International Journal of Acarology**. v. 43, 2017.

SENDI, J. J; EBADOLLAHI, A. Biological activities of essential oils on insects. **Recent Progress in Medicinal Plants (RPMP): Essential Oils II**, v. 37, p. 129-150, 2014.

SERTKAYA, E.; KAYA, K.; SOYLU, S. Acaricidal activities of the essential oils from several medicinal plants against the carmine spider mite (*Tetranychus cinnabarinus* Boisd.) (Acarina: Tetranychidae). **Industrial Crops and Products**. v. 31, p. 107–112, 2010.

SILVA, C.; MORAES, M.; CAMARA, C.; RIBEIRO, N.; MELO, J.; LIMA, V.; NAVARRO, D. Chemical composition and acaricidal activities of *Indigofera suffruticosa* essential oil against two-spotted spider mite. **Química Nova**. v. 42, n. 3, p. 313-318, 2019.

SINGH, P.; SINGH, R. N. Evaluation of Acaricides and Botanicals Against the Vegetable Mite *Tetranychus neocaledonicus* Andre on Brinjal Crop Under Laboratory and Field Conditions. **Journal of Pure and Applied Microbiology**. v. 10, n. 4. 2021.

SPOCHACZ, M; CHOWAŃSKI, S; WALKOWIAK NOWICKA, K; SZYM CZAK, M; ADAMSKI, Z. Plant Derived Substances Used Against Beetles–Pests of Stored Crops and Food–and Their Mode of Action: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 5, p. 1339-1366, 2018.

TAK, J. H.; JOVEL, E.; ISMAN, M, B. Comparative and synergistic activity of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil constituents against the larvae and an ovarian cell line of the cabbage looper, *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae). **Pest Management Science**. v. 72. n. 3. p. 474-480, 2016.

TU, X. F.; HU, F.; THAKUR, K.; LI, X. L.; ZHANG, Y. S., WEI, Z.J. Comparison of antibacterial effects and fumigant toxicity of essential oils extracted from different plants. **Industrial Crops and Products**. v. 124, p. 192-200, 2018

YAZDANI, E.; SENDI, J. J.; ALIAKBAR, A.; Effect of *Lavandula angustifolia* essential oil against lesser mulberry pyralid *Glyphodes pyloalis* Walker (Lep: Pyralidae) and identification of its major derivatives. **Pesticide Biochemistry and Physiology**. v. 107, n. 2, p. 250-257. 2013

ZHANG, Z. Q.; YUN, G. The sex- and duration-dependent effects of intermittent fasting on lifespan and reproduction of spider mite *Tetranychus urticae*. **Frontiers in Zoology**. v. 16, n. 10. 2019.

ZUZARTE, M.; SALGUEIRO, L. Essential oils chemistry. In: **Bioactive essential oils and cancer**. Springer, 2015. p. 19-61.

## ANEXO A – Artigo publicado na Systematic &amp; Applied Acarology, v. 26, n. 8, 2021

Systematic & Applied Acarology 26(8): 1560–1574 (2021)  
<https://doi.org/10.11158/saa.26.8.12>

ISSN 1362-1971 (print)  
 ISSN 2056-6069 (online)

Article

## Lethal and sublethal effects of *Azadirachta indica*-based products on *Tetranychus neocaledonicus* (Acari: Tetranychidae)

MAYARA FERNANDES DOS SANTOS<sup>1</sup>, PAULO ROBERTO RAMALHO SILVA<sup>1</sup>, MARCUS EUGÊNIO O. BRIOZO<sup>1</sup>, JOESLEY FRAZÃO SILVA<sup>2</sup>, LUIZ CARLOS DE MELO JUNIOR<sup>1</sup>, DOUGLAS RAFAEL E SILVA BARBOSA<sup>3</sup> & SOLANGE MARIA DE FRANÇA<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Agricultura Tropical, Universidade Federal do Piauí, Agricultural Science Center-Entomology, Campus Universitário Ministro Petrônio Portella, Bairro Ininga, 64049-550, Teresina, PI, Brazil.

<sup>2</sup>Graduate student in Agronomic Engineering, Universidade Federal do Piauí, Agricultural Science Center-Entomology, Campus Universitário Ministro Petrônio Portella, Bairro Ininga, 64049-550, Teresina, PI, Brazil.

<sup>3</sup>Instituto Federal do Maranhão, Codó, Maranhão, Brasil.

\*Corresponding author: [solangeufipe@yahoo.com.br](mailto:solangeufipe@yahoo.com.br); +5586999688432

### Abstract

The objective of this study is to evaluate the toxicity, repellency, and the ovicidal, residual, and sublethal effects of different neem-based commercial formulations on the red mite *Tetranychus neocaledonicus* André (1933) reared in the laboratory on lima bean (*Phaseolus lunatus* L.). To evaluate the toxicity on adult females of *T. neocaledonicus*, different concentrations of Natural Neem® (NN), Off-Neem® (ON), Nim-I-GO® (NG), and Azamax® (AZ) were defined from preliminary tests. The mortality and toxicity ratio were evaluated 48 h after application of the lethal concentrations (LC<sub>50</sub> and LC<sub>95</sub>). The repellent effect was verified through a two-choice test. The concentration used was the LC<sub>50</sub> of the products calculated in the toxicity test. The number of mites attracted, the repellency index (RI), and the percentage of repellency of each product were calculated. The ovicidal effect after application of the LC<sub>50</sub> and LC<sub>95</sub> of each product and egg viability were observed. To evaluate the residual efficiency, the plants were sprayed with LC<sub>50</sub> and LC<sub>95</sub> of the products and the leaves were subsequently harvested at 24, 48, and 96h after the application of the products to evaluate mortality and oviposition reduction (PR - percentage of reduction). The sublethal effects were evaluated by applying the LC<sub>50</sub> of the products (AZ, NG) to newly emerged females, whose survival and oviposition were evaluated daily. The determined LC<sub>50</sub> were 0.39; 0.48; 0.68; and 1.39% for AZ, ON, NN, and NG, respectively. Considering the LC<sub>50</sub>, AZ was the most toxic product followed by ON, whereas the established LC<sub>95</sub> were 2.20; 3.74; 6.10; and 7.98% for NN, ON, AZ, and NG, respectively. All tested products were classified as repellents for adult females of *T. neocaledonicus*. The eggs of *T. neocaledonicus* treated with the LC<sub>95</sub> of the products had their viabilities inhibited. However, when using the LC<sub>50</sub>, NN provided the lowest viability (8.0%), being considered the most toxic for eggs. The products presented reduced residual effect probably due to their rapid degradation. The mites treated with sublethal concentrations showed an average survival in days of 25.43, 28.35, and 29.20 for the treatments with Azamax®, control (untreated), and Nim-I-GO®, respectively. Relatively high oviposition rates in the first weeks decreased until the end of their life cycle. The life history of *T. neocaledonicus* is affected by sublethal concentrations of neem-based products. It was concluded that the tested products demonstrated acaricidal potential in the control of *T. neocaledonicus* on *P. lunatus*, presenting toxicity and repellent and ovicidal effect, although residual and sublethal effects were less significant.

**Key words:** Azadirachtin, natural control, toxicity, repellency, life table

### Introduction

Derivatives from neem (*Azadirachta indica*) have been showing promising acaricidal activity, causing toxicity in adults, adverse effects on fecundity, and a reduction in the egg viability of mites