



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

**QUIMIODIVERSIDADE E BIOATIVIDADE DOS ÓLEOS
ESSENCIAIS DE COPAS DE *Citrus* A *Mononychellus tanajoa*
(ACARI: TETRANYCHIDAE) E SELETIVIDADE A SEU
PREDADOR**

ADRIANO PIMENTEL FARIAS

2018



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

ADRIANO PIMENTEL FARIAS

**QUIMIODIVERSIDADE E BIOATIVIDADE DOS ÓLEOS ESSENCIAIS DE COPAS
DE *Citrus A Mononychellus tanajoa* (ACARI: TETRANYCHIDAE) E SELETIVIDADE
A SEU PREDADOR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Mestre em Ciências”.

Orientador
Prof. Dr. Adenir Vieira Teodoro

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL
2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

F224q Farias, Adriano Pimentel.
Quimiodiversidade e bioatividade dos óleos essenciais de copas de *citrus*
A mononychellus tanajoa (acari: tetranychidae) e seletividade a seu
predador / Adriano Pimentel Farias; orientador Adenir Vieira Teodoro. –
São Cristóvão, 2018.
40 f.: il.

Dissertação (mestrado em Agricultura e Biodiversidade)–
Universidade Federal de Sergipe, 2018.

1. Essências e óleos essenciais. 2. Mandioca - Cultura. I. Teodoro,
Adenir Vieira, orient. II. Título.

CDU 63:665.52/.54

ADRIANO PIMENTEL FARIAS

**QUIMIODIVERSIDADE E BIOATIVIDADE DOS ÓLEOS ESSENCIAIS DE COPAS
DE *Citrus* A *Mononychellus tanajoa* (ACARI: TETRANYCHIDAE) E SELETIVIDADE
A SEU PREDADOR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Mestre em Ciências”.

Aprovado em 25 de julho de 2018.

Dra. Eliana Maria dos Passos
EMDAGRO

Dr. José Guedes de Sena Filho
EMBRAPA Tabuleiros Costeiros



Prof ° Dr. Adenir Vieira Teodoro
EMBRAPA Tabuleiros Costeiros
(Orientador)

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL

*Aos meus pais, Édila da Fraga Pimentel
Farias e José Ailton Monteiro de Farias, e
irmãos, Alisson Pimentel Farias e Augusto
Daniel Pimentel Farias, pelo apoio e
incentivo.*
Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente, agradeço pela força, coragem e sabedoria.

Ao Dr. Adenir Vieira Teodoro, pela orientação durante quatro anos, ensinamentos, incentivo e amizade.

Ao Dr. José Guedes, pelas sugestões para realização deste trabalho.

Ao Luis Viteri (Das colinas), pela ajuda nos experimentos com crisopídeos.

À Maria Clezia dos Santos, minha namorada, parceira das disciplinas e experimentos, por todo amor, compromisso, atenção, paciência e felicidade.

Aos amigos da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Danúbia (Abelha), Giselle, Vanessa, Amaury (Do sertão), Alex (Aceria), Mariana, Caroline, Jacilene, Shênia, Eliana e Flaviana, pela convivência, conselhos e ajuda.

À Flaviana, pelas considerações na escrita.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Agricultura e Biodiversidade, pelos ensinamentos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

BIOGRAFIA

ADRIANO PIMENTEL FARIAS, nasceu em Boquim – SE, no dia 01 de abril de 1993. Filho de Édila da Fraga Pimentel Farias e José Ailton Monteiro de Farias. Graduiu-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal de Sergipe (UFS) em 2016. Durante a graduação, foi bolsista de Iniciação Científica e atuou nas áreas de Fitotecnia e Entomologia Agrícola, desenvolvendo trabalhos com plantas medicinais, óleos essenciais e vegetais no manejo de pragas e levantamento populacional de pragas. Após a graduação, iniciou o mestrado no Programa de Pós-graduação em Agricultura e Biodiversidade – UFS no ano de 2016.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Óleos essenciais de plantas	3
2.2. Óleos essenciais de cítricos	4
2.3. Citricultura e diversificação de cultivares	6
2.4. A cultura da mandioca	7
2.5. <i>Mononychellus tanajoa</i>	8
2.6. Estratégias de manejo de <i>Mononychellus tanajoa</i>	9
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	10
4. ARTIGO: QUIMIODIVERSIDADE DOS COMPOSTOS VOLÁTEIS EM DIFERENTES COPAS DE <i>Citrus</i> : COMPOSIÇÃO, ENANTEREOESPECIFICIDADE DO LIMONENO E BIOATIVIDADE A PRAGA DE MANDIOCA E SELETIVIDADE A SEU PREDADOR	20
Resumo.....	20
Abstract	21
4.1. Introdução	21
4.2. Materiais e métodos	22
4.2.1. Obtenção e criação de manutenção de <i>Mononychellus tanajoa</i> e <i>Ceraeochrysa caligata</i>	22
4.2.2. Óleos essenciais	22
4.2.2.1. Extração.....	22
4.2.2.2. Composição química	23
4.2.3. Toxicidade dos óleos essenciais e enantiômeros do limoneno a <i>Mononychellus tanajoa</i>	23
4.2.4. Efeitos subletais do óleo de ‘Persian lime 58’	24
4.2.4.1. Sobrevivência de <i>Mononychellus tanajoa</i>	24
4.2.4.2. Mortalidade de <i>Ceraeochrysa caligata</i>	24
4.2.4.3. Consumo de <i>Mononychellus tanajoa</i> por <i>Ceraeochrysa caligata</i>	24
4.2.5. Análises estatísticas	24
4.3. Resultados	25
4.3.1. Composição dos óleos essenciais	25
4.3.2. Toxicidade dos óleos essenciais e enantiômeros do limoneno a <i>Mononychellus tanajoa</i>	25
4.3.3. Efeitos subletais do óleo de ‘Persian lime 58’	25
4.3.3.1. Sobrevivência de <i>Mononychellus tanajoa</i>	25
4.3.3.2. Mortalidade de <i>Ceraeochrysa caligata</i>	26
4.3.3.3. Consumo de <i>Mononychellus tanajoa</i> por <i>Ceraeochrysa caligata</i>	26
4.4. Discussões	26
4.5. Referências Bibliográficas	28
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	40

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1	Colônia do ácaro-verde-da-mandioca <i>Mononychellus tanajoa</i> 8
2	Larva de primeiro instar do crisopídeo <i>Ceraeochrysa caligata</i> 10
ARTIGO	
Figura	Página
1	Curvas de sobrevivência de fêmeas de <i>Mononychellus tanajoa</i> expostas as CL25 e CL50 do óleo essencial de ‘Persian lime 58’ 36
2	Número médio de adultos de <i>Mononychellus tanajoa</i> predados por larvas de <i>Ceraeochrysa caligata</i> expostas ao óleo essencial de ‘Persian lime 58’, em função de duas densidades da presa, a cada dia. Barras identificam diferença significativa pelo teste de t-Student ($P < 0,05$) 38

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela	
1 Bioatividade de óleos cítricos a artrópodes pragas.....	5
 ARTIGO	 Página
Tabela	
1 Composição química dos óleos essenciais das cultivares copas de citros	35
2 Concentrações letais (CLs) (mg/mL) dos óleos essenciais de quatro cultivares copas de citros a <i>Mononychellus tanajoa</i> . χ^2 : qui-quadrado; P-valor; n: número de indivíduos testatos; IC: intervalo de confiança.	36
3 ANOVAS para medidas repetidas com dados de consumo de <i>Mononychellus tanajoa</i> por <i>Ceraeochrysa caligata</i> sob o efeito da CL ₅₀ do óleo essencial de ‘Persian lime 58’	37
4 Resumo de análises de regressão do efeito do tempo (h) no consumo diário de <i>Mononychellus tanajoa</i> por <i>Ceraeochrysa caligata</i>	39

RESUMO

FARIAS, Adriano Pimentel. **Quimiodiversidade e bioatividade dos óleos essenciais de copas de *Citrus* a *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae) e seletividade a seu predador.** São Cristóvão: UFS, 2018. 40p. (Dissertação – Mestrado em Agricultura e Biodiversidade).*

Atualmente, a citricultura passa por um processo de diversificação de cultivares para fins econômicos, no entanto, pouco se conhece sobre a composição e bioatividade de óleos essenciais dessas cultivares. Assim, óleos essenciais das laranjeiras ‘Kona’ e ‘Pera CNPMF-D6’, tangerineira ‘Piemonte’ e limeira ácida ‘Persian lime 58’ foram avaliados quanto a sua composição e toxicidade juntamente com enantiômeros do limoneno ao ácaro-verde-da-mandioca *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae), praga chave dessa cultura. Ademais, avaliou-se o efeito subletal do óleo com menor CL_{50} na sobrevivência da praga e seletividade ao crisopídeo *Ceraeochrysa caligata* (Neuroptera: Chrysopidae), predador generalista de insetos e ácaros. Sabineno e linalol foram os principais componentes encontrados nos óleos das laranjeiras (39-45%) e tangerineira (38%), enquanto que o limoneno compõe mais de 52% do óleo da limeira ácida. Embora a CL_{50} do óleo de ‘Persian lime 58’ estimada a *M. tanajoa* (5,79 mg/mL) foi menor que a CL_{50} dos outros óleos e de S(-)-limoneno, não houve diferença na toxicidade. No entanto, R-(+)-limoneno ($CL_{50} = 12,04$ mg/mL) foi menos tóxico a *M. tanajoa* comparado ao óleo de ‘Persian lime 58’. Assim, todos os óleos e S(-)-limoneno tiveram potencial para o manejo de *M. tanajoa*. Adicionalmente, a sobrevivência do ácaro-verde-da-mandioca foi reduzida pela CL_{25} e CL_{50} do óleo essencial de ‘Persian lime 58’. Para *C. caligata*, esse óleo foi seletivo, baseado na mortalidade e predação.

Palavras-chave: ácaro-verde-da-mandioca, óleos essenciais de citros, efeito subletal, *Ceraeochrysa caligata*.

* Orientador: Adenir Vieira Teodoro – EMBRAPA.

ABSTRACT

FARIAS, Adriano Pimentel. **Chemodiversity and bioactivity of essential oils from *Citrus* scions to *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae) and selectivity to its predator.** São Cristóvão: UFS, 2018. 40p. (Thesis - Master of Science in Agriculture and Biodiversity).*

Currently, citriculture has undergone a process of cultivars diversification for economic purposes. However, little is known about the composition and bioactivity of the essential oils of these cultivars. Thus, essential oils from ‘Kona’ and ‘Pera CNPMF-D6’ sweet oranges, ‘Piemonte’ mandarin, and ‘Persian lime 58’ acid lime were evaluated for their composition and toxicity, together with limonene enantiomers, against cassava green mite, *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae), a crucial pest of this crop. In addition, this work evaluated the sublethal effect of the essential oil with the lowest LC₅₀ on pest survival and selectivity to lacewing, *Ceraeochrysa caligata* (Neuroptera: Chrysopidae), a general predator of insects and mites. Sabinene and linalool were the major compounds found in the essential oils of the oranges (39-45%) and the mandarin (38%), while limonene composed more than 52% of the acid lime essential oil. Although the LC₅₀ estimates of the essential oil of ‘Persian lime 58’ estimated for *M. tanajoa* (5.79 mg/mL) were lower than the LC₅₀ of the other essential oils and the S-(–)-limonene, they presented no differences regarding toxicity. However, R-(+)-limonene (LC₅₀ = 12.04 mg/mL) was less toxic to *M. tanajoa* when compared with ‘Persian lime 58’ essential oil. Thus, all essential oils and S-(–)-limonene showed potential for *M. tanajoa* control. Moreover, the LC₂₅ and LC₅₀ of ‘Persian lime 58’ essential oil reduced cassava green mite survival. For *C. caligata*, ‘Persian lime 58’ essential oil was selective, based on mortality and predation.

Key-words: cassava green mite, citrus essential oils, sublethal effect, *Ceraeochrysa caligata*.

* Supervisor: Adenir Vieira Teodoro – EMBRAPA.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Óleos essenciais de plantas são líquidos lipofílicos que possuem diferentes componentes naturais biologicamente ativos (KHORSHIDIAN et al., 2018; REHMAN; ALI; KHAN, 2014). Vários óleos essenciais são bioativos a artrópodes pragas, com seu desempenho e de seus componentes variáveis de acordo com a suscetibilidade da espécie alvo (KHANI; ASGHARI, 2012). Além da mortalidade, esses óleos podem interferir no período de vida, na alimentação, fertilidade, fecundidade e no comportamento de artrópodes pragas (BENELLI et al., 2018; JESSER et al., 2017; PLATA-RUEDA et al., 2018; RIBEIRO et al., 2015).

O conhecimento sobre os efeitos de óleos essenciais em pragas é amplo, contudo, existe pouca informação disponível desses sobre inimigos naturais (WERDIN GONZÁLEZ et al., 2013). A seletividade fisiológica consiste na característica de inseticidas/acaricidas com baixa toxicidade aos inimigos naturais ou aqueles que são mais tóxicos às pragas do que aos inimigos naturais (BACCI et al., 2009; NDAKIDEMI et al., 2016; WERDIN GONZÁLEZ et al., 2013). Óleos essenciais são geralmente pouco tóxicos a predadores, mas concentrações subletais podem induzir efeitos adversos (CASTILHOS; GRÜTZMACHER; COATS, 2018).

Os óleos de citros apresentam atividade antimicrobiana, antioxidante, anti-inflamatória, inseticida e acaricida (CAMARA et al., 2015; DUTRA et al., 2016; GERACI et al., 2017; RUIZ-PÉREZ et al., 2016; SHEN et al., 2017; TORRES-ALVAREZ et al., 2017; ZARRAD et al., 2015) e estão disponíveis em grandes quantidades no Brasil. Porém, esses óleos quando comercializados são provenientes da laranjeira ‘Pera’ [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck], cultivar copa mais difundida e economicamente importante no País (PASSOS; CUNHA SOBRINHO; SOARES FILHO, 2013) ou da mistura com outras cultivares. Embora a principal região produtora de citros do Nordeste do Brasil (Norte da Bahia e Sul de Sergipe) cultive principalmente a laranjeira ‘Pera’, outras cultivares vêm sendo estudadas, a exemplo da laranjeira ‘Kona’, tangerineira ‘Piemonte’ e limeira ácida ‘Persian lime 58’ (CARVALHO et al., 2016a; MARTINS et al., 2016). Portanto, é possível que a composição e a bioatividade de óleos essenciais de diferentes cultivares copas de citros a pragas também varie. Os óleos essenciais dessas cultivares podem ser uma fonte direta de terpenos para serem utilizados no manejo integrado de pragas e a atividade acaricida de formas enantioméricas desses constituintes ainda é pouco conhecida.

A mandioca é uma cultura tropical, cultivada em sistema tecnificado e não tecnificado, que alimenta cerca de 800 milhões de pessoas no mundo (FAO, 2013). Mesmo com mecanismos de defesa para suportar condições adversas e o ataque de herbívoros, algumas espécies de insetos e ácaros especialistas têm potencial para causar perdas no rendimento produtivo dessa cultura (PINTO-ZEVALLOS; PAREJA; AMBROGI, 2016). Dentre os ácaros, o ácaro-verde-da-mandioca *Mononychellus tanajoa* (Bondar, 1938) (Acari: Tetranychidae) é praga chave e causa grandes perdas na produção de raízes. Provavelmente nativo do Nordeste do Brasil, local do seu primeiro relato em 1938 (BELLOTTI; SMITH; LAPOINTE, 1999), esse ácaro disseminou-se pelo mundo. Na África, por exemplo, as perdas na produção dessa cultura chegam a 80% (YANINEK; HERREN, 1988); na China, 60% (CHEN et al., 2010) e em Pernambuco, 51% (GONÇALVES et al., 2001).

As principais estratégias para controlar *M. tanajoa* incluem a resistência de plantas e controle biológico, utilizando inimigos naturais e entomopatógenos (AGBOTON et al., 2013; ONZO; BELLO; HANNA, 2013; PARSA; MEDINA; RODRÍGUEZ, 2015; ZANNOU et al., 2007). Poucas cultivares combinam resistência às pragas e doenças com boas características agrônômicas (DIXON; NGEVE; NUKENINE, 2002; MAHUNGU; DIXON; KUMBIRA, 1994; MUTISYA et al., 2013) e os entomopatógenos estão restritos às condições de umidade (DELALIBERA et al., 2006). Ácaros predadores (especialistas e generalistas da família Phytoseiidae) e insetos predadores (principalmente crisopídeos) frequentemente regulam a população deste ácaro praga (BOOPATHI et al., 2017; RÊGO et al., 2013; SATTAYAWONG; URAICHUEN; SUASA-ARD, 2016; ZANNOU et al., 2007). Porém, geralmente, esses agentes

não conseguem responder às crescentes populações de *M. tanajoa* durante a estação seca (ONZO; BELLO; HANNA, 2013; ONZO; HANNA; SABELIS, 2003; RÊGO et al., 2013) e outras estratégias precisam ser adotadas, priorizando a conservação de organismos não-alvo, principalmente os predadores.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Óleos essenciais de plantas

O aumento de problemas ambientais e de saúde pelo uso indiscriminado de agrotóxicos, além da crescente demanda por alimentos mais seguros pelos consumidores, tornaram as substâncias naturais, como os óleos essenciais, mais atrativas para uso na agricultura (EBADOLLAHI, 2011). Os óleos essenciais são geralmente seguros para o meio ambiente porque possuem uma variedade de substâncias químicas biodegradáveis e que não são tóxicas para mamíferos, aves e peixes (MISRA et al., 1996; PAVELA, 2014; STROH et al., 1998). Adicionalmente, os óleos são desejáveis em programas de controle de artrópodes pragas, uma vez que não são persistentes no ambiente, são geralmente seletivos para organismos não-alvo e têm baixa toxicidade ao homem (ISMAN, 2015; PAVELA; BENELLI, 2016; REGNAULT-ROGER; VINCENT; ARNASON, 2012).

Os óleos essenciais de plantas são misturas naturais complexas, que podem conter cerca de 20-60 componentes em diferentes concentrações, caracterizados por dois ou três componentes principais em concentrações relativamente altas em comparação com outros componentes que estão presentes em quantidade mínima (BAKKALI et al., 2008). Os compostos são geralmente terpenóides, fenóis, ésteres, álcoois, cetonas e ácidos (PAVELA, 2015), que são responsáveis pela bioatividade do óleo essencial, que varia de acordo com seu número de componentes e as interações entre eles (isto é, sinergismo e/ou antagonismo) (AKHTAR; ISMAN, 2012). Na natureza, esses compostos desempenham papel importante na proteção das plantas, como antibacterianos, antivirais, antifúngicos, inseticidas, acaricidas e contra outros herbívoros. Além disso, também podem atrair alguns insetos para favorecer a dispersão de sementes e pólen, ou repelir os indesejáveis (BAKKALI et al., 2008).

Também conhecidos por óleos voláteis, os óleos essenciais são produzidos por mais de 17.500 espécies comumente pertencentes às famílias de angiospermas Lamiaceae, Rutaceae, Verbenaceae, Myrtaceae, Zingiberaceae e Asteraceae (REGNAULT-ROGER; VINCENT; ARNASON, 2012). A biossíntese e acúmulo de óleos essenciais está associada à presença de estruturas secretoras como tricomas glandulares (Lamiaceae), cavidades secretoras (Myrtaceae, Rutaceae) e dutos de resina (Asteraceae, Apiaceae). Dependendo da espécie avaliada, os óleos são armazenados, por exemplo, em flores (laranjeira bergamota, *Citrus aurantium* L. subsp. *bergamia* (Risso & Poiteau, 1896), folhas (capim-limão, *Citronella* spp.; eucalipto, *Eucalyptus* spp.), madeira (sândalo, *Santalum* spp.), raízes (capim vetiver, *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty), rizomas (gengibre, *Zingiber officinale* Roscoe 1807, cúrcuma, *Curcuma longa* Linnaeus 1753), frutos (anis, *Pimpinella anisum* Linnaeus) e sementes (noz moscada, *Myristica fragrans* Houtt, 1774) (REGNAULT-ROGER; VINCENT; ARNASON, 2012), ou ainda em várias partes da planta, frutos, flores e folhas (*Citrus* spp.) (ALQUÉZAR et al., 2017). Os óleos são geralmente obtidos por hidrodestilação, destilação a vapor, prensagem mecânica, extração com fluido supercrítico e solventes (REGNAULT-ROGER; VINCENT; ARNASON, 2012).

Os óleos essenciais são utilizados desde a antiguidade na medicina popular e após a primeira descrição escrita do processo de destilação, no século XIII, foram incluídos nas farmacopeias dos países europeus (BURT, 2004). O interesse pela atividade dos óleos essenciais sobre artrópodes foi aumentado com a demonstração da sua atividade inseticida por fumigação e contato a diversas pragas nos anos 90 (ISMAN, 2000). Em menos de 30 anos, cerca de 100.000 ‘metabolitos secundários vegetais’ foram conhecidos e centenas desses possuem bioatividade a pragas (ISMAN, 2017). Porém, para o registro e utilização de um produto botânico em cultivos existe uma lacuna de tecnologias necessárias, sendo a produção em larga escala do material vegetal, a principal (ISMAN, 2017). Dessa forma, espécies cultivadas, fonte de metabolitos secundários com atividade conhecida, têm vantagem para o desenvolvimento de pesticidas botânicos. Exemplos disso são o inseticida/acaricida (Eco-oil®)

e o inseticida/fungicida (Prev-Am®), derivados do óleo de *Melaleuca alternifolia* (Cheel, 1925) (Myrtaceae) e óleos essenciais de eucalipto e do óleo de laranja, respectivamente (ISMAN, 2015).

Além da mortalidade, os óleos essenciais podem interferir no período de vida, na alimentação, fertilidade, fecundidade e no comportamento de artrópodes pragas (BENELLI et al., 2018; JESSER et al., 2017; PLATA-RUEDA et al., 2018; RIBEIRO et al., 2015). O conhecimento sobre os efeitos de óleos essenciais em pragas é elevado, contudo, existe pouca informação disponível desses sobre inimigos naturais (WERDIN GONZÁLEZ et al., 2013). A seletividade fisiológica consiste na característica de inseticidas/acaricidas com baixa toxicidade aos inimigos naturais ou aqueles que são mais tóxicos às pragas do que aos inimigos naturais (BACCI et al., 2009; NDAKIDEMI et al., 2016; WERDIN GONZÁLEZ et al., 2013). Os óleos essenciais são geralmente pouco tóxicos a predadores, mas concentrações subletais podem induzir efeitos adversos (CASTILHOS; GRÜTZMACHER; COATS, 2018).

2.2 Óleos essenciais cítricos

A indústria de óleos essenciais cítricos é uma das maiores do mundo e derivados desses óleos são comercializados para aromatizar alimentos, bebidas, perfumes, cosméticos, medicamentos e mais recentemente para uso na agricultura (BICCHI, 2012; FERHAT; MEKLATI; CHEMAT, 2007; ISMAN, 2017). Os óleos essenciais cítricos estão disponíveis em quantidades abundantes no Brasil e são exportados para diversos países (BIZZO; HOVELL; REZENDE, 2009). No entanto, esses óleos comercializados são provenientes de frutos da laranjeira 'Pera' *C. sinensis* ou da mistura com outras cultivares.

Os óleos essenciais de citros apresentam atividade antimicrobiana, antioxidante, anti-inflamatória, antipigmentação, nematocida, inseticida, acaricida e anticarcinogênicas (CAMARA et al., 2015; DUTRA et al., 2016; GERACI et al., 2017; KUMMER et al., 2013; RUIZ-PÉREZ et al., 2016; TORRES-ALVAREZ et al., 2017; ZARRAD et al., 2015). No entanto, muitos estudos são de óleos comerciais, sem espécie e cultivar conhecida, enquanto outros são de espécies como *C. sinensis*, *C. aurantium* Linnaeus, *C. deliciosa* Tenore, *C. Paradise* Macfadyen, *C. reticulata* Blanco, *C. limon* Burman, *C. aurantifolia* Christm, *C. grandis* Linnaeus, com cultivar não especificada.

Os óleos de *C. aurantifolia*, *C. limonium*, *C. sinensis*, *C. paradisi*, *C. latifolia* e *C. reticulata* foram bioativos a vários insetos de grãos armazenados, mosquitos e baratas (Tabela 1). Além desses, os óleos de citros também foram promissores para manejo de *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) (Hemiptera: Aleyrodidae) e *Musca domestica* Linnaeus, 1758 (Diptera: Muscidae) (CAMARA et al., 2015; CAMPOLO et al., 2017; ROSSI; PALACIOS, 2013; VILLAFANE et al., 2011; ZARRAD et al., 2015).

A atividade inseticida/acaricida dos óleos cítricos é atribuída principalmente aos monoterpenóides, compostos que possuem atividade inseticida sobre várias espécies (KOUL; WALIA; DHALIWAL, 2008). Dentre os monoterpenos, o limoneno é geralmente o composto majoritário encontrado em citros, com concentrações variáveis dependente da espécie (JING et al., 2014). Isoladamente, esse componente foi bioativo a vários artrópodes, mas existe diferença na atividade biológica de suas formas enantioméricas, S(-)-limoneno e R-(+)-limoneno (CAMARA et al., 2015; FOUAD; DA CAMARA, 2017; GIATROPOULOS et al., 2012).

A diversidade de compostos voláteis encontrados em citros é elevada e mais de 100 compostos estão identificados (ALQUÉZAR et al., 2017), sendo hidrocarbonetos terpênicos (mono e sesquiterpenos), e seus derivados oxigenados, álcoois, aldeídos, ésteres, éteres e óxidos, os principais (DUGO; DI GIACOMO, 2002; GONZÁLEZ-MAS et al., 2011; HONG et al., 2017; ZHONG et al., 2014).

Tabela 1: Bioatividade de óleos cítricos a artrópodes pragas.

Óleos essenciais	Pragas	Referências
Grãos armazenados		
<i>Citrus latifolia</i> , <i>C. reticulata</i> , <i>C. sinensis</i> e <i>C. paradisi</i>	<i>Callosobruchus maculatus</i> (Fabricius, 1775)	DUTRA et al., 2016
<i>Citrus sinensis</i>	<i>Rhyzopertha dominica</i> (Fabricius, 1972)	TANDOROST; ZOOL, 2012
<i>Citrus sinensis</i>	<i>Tribolium confusum</i> Jacquelin du Val, 1863 <i>T. castaneum</i> (Herbst, 1797)	MAHMOUDVAND et al., 2011
<i>Citrus aurantifolia</i> e <i>Citrus reticulata</i>	<i>Sitophilus granarius</i> (Linnaeus, 1758) <i>S. zeamais</i> Motschulsky, 1855	FOUAD; CAMARA, 2017
Mosquitos		
<i>Citrus hystrix</i> e <i>C. reticulata</i>	<i>Aedes aegypti</i> (Linnaeus, 1762)	SUTTHANONT et al., 2010
<i>Citrus</i> sp.	<i>A. albopictus</i> (Skuse, 1894)	CAMPOLO et al., 2016
<i>Citrus sinensis</i> e <i>C. aurantium</i>	<i>Anopheles labranchiae</i> Falleroni, 1926	EL-AKHAL; LALAMI; GUEMMOUH, 2015
<i>Citrus sinensis</i> , <i>C. limon</i> e <i>Citrus aurantium</i>	<i>Culex quinquefasciatus</i> Say, 1823 <i>C. pipiens</i> Linnaeus, 1758	MICHAELAKIS et al., 2009
Baratas		
<i>Citrus paradisi</i> , <i>C. limonium</i> , <i>C. aurantifolia</i> , <i>C. sinensis</i> e <i>C. aurantium</i>	<i>Blattella germanica</i> (Linnaeus, 1758) <i>Periplaneta americana</i> (Linnaeus, 1758) <i>P. fuliginosa</i> (Serville, 1838)	YOO et al., 2009
Ácaro		
<i>Citrus aurantium</i> e <i>C. sinensis</i>	<i>Tetranychus urticae</i> (Koch, 1836)	CAMARA et al., 2015
<i>Citrus bergamia</i> , <i>C. paradisi</i> , <i>C. limonum</i> , <i>C. aurantifolia</i> , <i>C. sinensis</i> , <i>C. aurantium</i> e <i>C. reticulata</i>		CHOI et al., 2004

Espécies de citros foram caracterizadas como padrões na composição de óleos essenciais, dependendo da parte da planta (HUSNU CAN BASER; BUCHBAUER, 2015). Limoneno é geralmente o principal componente dos óleos essenciais da casca de futos de *C. sinensis*, enquanto sabineno, o principal componente de folhas (CAMARA et al., 2015; DRUŽIĆ et al., 2016; KASALI et al., 2011). Os compostos majoritários encontrados em óleos essenciais de flores e folhas de *C. aurantium* são semelhantes (acetato de linalila, linalol, (E, E)-farnesol e (E)-estolidol), porém em diferentes proporções (DRUŽIĆ et al., 2016).

A correlação do óleo essencial com as características morfológicas e genéticas das plantas foi encontrada em várias espécies de *Citrus* (RUBERTO et al., 1997). No entanto, em *Citrus jambhiri* (Lushington, 1910), monoterpenos emitidos por folhas aumentaram como resposta a infecção microbiana (SHISHIDO et al., 2012; YAMASAKI et al., 2007), e o nível de expressão de algumas terpeno sintases foram aumentadas pelo ataque microbiano (SHIMADA et al., 2014; SHISHIDO et al., 2012).

A natureza híbrida de espécies de *Citrus* e cultivares implica na diversificação de famílias de genes que ocorre como resultado da combinação de alelos de pais ancestrais (GARCIA-LOR et al., 2013). Dessa forma, a planta pode ter caracteres de terpeno sintases herdados de ambos os pais (ALQUÉZAR et al., 2017). Além disso, os pomares comerciais são baseados em plantas enxertadas, ou seja, combinação de duas espécies diferentes (PASSOS;

CUNHA SOBRINHO; SOARES FILHO, 2013). Assim, é possível que a composição e a bioatividade de óleos essenciais de diferentes cultivares copas de citros a pragas também varie e esses óleos podem ser uma fonte direta de terpenos para serem utilizados no manejo integrado de pragas como *M. tanajoa*.

2.3 A citricultura e diversificação de cultivares

O Brasil é o primeiro e segundo maior produtor de laranja e citros (laranja, lima ácida e tangerina) do mundo, com produção de 17,2 e 19,5 milhões de toneladas, respectivamente (FAO, 2018). Os citros são cultivados em todas as regiões do país, com produção concentrada na região Sudeste, seguida pelo Nordeste e Sul (IBGE, 2018). A área plantada e a participação na produção nacional do Nordeste aumentaram nos últimos 10 anos, enquanto o Sudeste reduziu sua área em 26% nesse período (IBGE, 2018), por causa do ‘Huanglongbing’ (HLB), doença bacteriana que obrigou erradicação de milhões de plantas (BOVÉ, 2012). No entanto, pragas e outras doenças afetam a citricultura brasileira, principalmente na região em expansão (isenta do HLB), pelo uso de poucas cultivares.

Historicamente, a citricultura brasileira caracterizou-se pelo uso de poucas cultivares (ALMEIDA; PASSOS, 2011). A origem ocorreu com o cultivo da laranjeira ‘Bahia’ enxertada em laranjeira ‘Caipira’ (*C. sinensis*), posteriormente em laranjeira ‘Azeda’ (*C. aurantium*), que por sua intolerância ao vírus-da-tristeza-dos-citros (CTV) foi substituída pelo limoeiro ‘Cravo’ (*C. limonia*) (BARBOSA; RODRIGUES, 2014; PASSOS; CUNHA SOBRINHO; SOARES FILHO, 2013). A laranjeira ‘Bahia’, por sua vez, foi gradativamente substituída pela laranjeira ‘Pera’, por essa apresentar qualidades que atendem à demanda da indústria, exportação e do consumo interno *in natura*, conquistando a preferência dos produtores e consumidores (PASSOS; CUNHA SOBRINHO; SOARES FILHO, 2013).

A combinação da laranjeira ‘Pera’ com o limoeiro ‘Cravo’ alcançou resultados significativos em termos de produção, mas o monocultivo varietal torna-a vulnerável a pragas e doenças, concentra o período da colheita, reduz a eficiência produtiva dos pomares e a biodiversidade (CUNHA SOBRINHO; PASSOS; SOARES FILHO, 2013). A concentração da colheita ocasiona dificuldades de encontrar mão-de-obra para colher os frutos, reduzindo o preço pago pelo produto, o que reflete em problemas econômicos para o citricultor (ALMEIDA; PASSOS, 2011; PASSOS; CUNHA SOBRINHO; SOARES FILHO, 2013)

A diversificação de cultivares copas e porta-enxertos é demandada pela indústria brasileira de cítricos e citricultores (SILVA et al., 2013b). Novas cultivares de laranjeiras, tangerineiras, limeiras ácidas possuem boa adaptabilidade em várias regiões do país, com alta qualidade de frutos e rendimento para mercado fresco e indústria (CAPUTO et al., 2012; PASSOS; CUNHA SOBRINHO; SOARES FILHO, 2013). Além da copa, o porta-enxerto tem significativa participação na combinação, influenciando no crescimento da planta, precocidade de produção, época de maturação, peso dos frutos, permanência dos frutos, capacidade de absorção, síntese e utilização de nutrientes, tolerância à salinidade, resistência à seca e ao frio e resistência ou tolerância a pragas e doenças (POMPEU JUNIOR, 1991). Adicionalmente, a necessidade de aumentar a produtividade dos pomares com maiores densidades de plantio trouxe atenção aos porta-enxertos enanicantes, que induzem menor tamanho da copa e maior eficiência produtiva (AULER; FIORI-TUTIDA; TAZIMA, 2008; CARVALHO et al., 2016a, 2016b).

No Nordeste, vinte cultivares copas enxertadas sobre o limoeiro ‘Cravo’ foram avaliadas quanto a performance agrônômica (MARTINS et al., 2016). As cultivares foram as laranjeiras ‘Pera CNPMF-D6’, ‘Kona’, ‘Rubi’, ‘Natal CNPMF-112’, ‘Valência Montemorelos’, ‘Lima’, ‘Succory Acidless’, ‘Lima Verde’; tangerineiras ‘Piemonte’ (tangerina Clementina) (x Clacena ex Tanaka) x tangor ‘Murcott’ (híbrido de origem desconhecida, possivelmente resultante do cruzamento entre tangerineira e laranjeira doce (HODGSON, 1967), ‘Nova’ e ‘Page’ [*C. clementina* x (*C. paradisi* Macfad. x *C. clementina* hort. ex

Tanaka)]; o tangor ‘Murcott’; os clones de limeira ácida Tahiti ‘CNPMF-01’, ‘CNPMF-02’, ‘5059’, ‘IAC 5’, ‘IAC 5-1’, ‘CNPMF-2001’, ‘Persian lime 58’ e ‘Bearss lime’. Dentre essas, a laranja ‘Kona’, a tangerina ‘Piemonte’ e a limeira ácida ‘Persian Lime 58’ apresentaram maior eficiência vegetativa e produtiva comparada a laranja ‘Pera CNPMF D6’, com potencial para diversificação de pomares nesta região (MARTINS et al., 2016).

Dos porta-enxertos avaliados na região Nordeste, os limoeiros ‘Cravo’ comum, ‘Cravo Santa Cruz’ e ‘Rugoso Vermelho’; os citrandarins ‘Índio’ e ‘San Diego’; e os híbridos (TSKC x CTSW) 058, (TSKFL x CTARG) 028, [TSKC x (LCR x TR)] 059, (TSKC x CTARG) 044 e (TSKC x LHA) 006, além de induzirem eficiência produtiva igual ou superior a 7,0 kg/m³ de frutos para a laranja ‘Pera CNPMF-D6’, propiciaram menor perda de água por evapotranspiração, em condição de deficit hídrico (CARVALHO et al., 2016b). O desempenho da laranja ‘Valência Tuxpan’ foi maior quando enxertada sobre os limoeiros ‘Cravo santa cruz’, ‘Volkameriano’; citrandarins ‘Índio’ e ‘Riverside’; tangerineira ‘Sunki Tropical’ e híbridos [TSKC x (LCR x TR)] 001 (FRANÇA et al., 2016). A tangerineira ‘Piemonte’ teve alto rendimento em combinação com o limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, ‘Cravo comum’; tangerineira ‘Sunki Tropical’; Citrandarins ‘San Diego’, ‘Riverside’ e ‘Índio’ e híbridos LVK x LCR-010 (CARVALHO et al., 2016a).

2.4 A cultura da mandioca

A mandioca, *Manihot esculenta* Crantz, 1766 (Euphorbiaceae), é fonte de alimento e renda para mais de 800 milhões de pessoas no mundo, cultivada em aproximadamente 23 milhões de hectares ao longo dos trópicos, na América do Sul, África subsaariana, Índia, Filipinas, Indonésia e Sudeste Asiático (FAO, 2018). A Nigéria, Tailândia e o Brasil são os maiores produtores e representam cerca de 40% de toda área cultivada (FAO, 2018). A produção brasileira está concentrada na região Norte, seguida pelo Sul, Nordeste e Sudeste, com cerca de 21 milhões de toneladas produzidas em 1,4 milhões de hectares cultivados (IBGE 2018).

A importância da mandioca como alimento e fins industriais depende principalmente de suas raízes, que acumulam amido (FAO, 2013). O amido é utilizado diretamente como alimento humano e animal, espessante e estabilizador no processamento de alimentos, matéria-prima para produção de energia, álcool, materiais plásticos e também como aditivo nas indústrias têxtil e de papelaria (ANGGRAINI et al., 2009; TONUARI et al., 2015; WANAPAT; KANG, 2015; ZAIN; KAHAR; NORIMAN, 2016; ZHOU; THOMSON, 2009).

Para a alimentação, a mandioca contém altas concentrações de glicosídeos cianogênicos, principalmente linamarina, que se quebra para liberar cianeto quando esmagados ou mastigados e por isso é considerada uma planta tóxica (CARDOSO et al., 2005). O cianeto em partes da mandioca insuficientemente processada pode resultar em intoxicação aguda, causando vômitos, taquipneia, taquicardia, tonturas, dor de cabeça, dor abdominal, diarreia, confusão mental e convulsões (AKINTONWA; TUNWASHE; ONIFADE, 1994; MLINGI; POULTER; ROSLING, 1992). Dessa forma, as cultivares de mandiocas podem ser classificadas em duas categorias, baseadas em seu conteúdo cianogênico: mansas, apresentam até 100 mg de ácido cianídrico (HCN) por kg de polpa de raiz fresca; e bravas, com concentrações acima de 100 mg de HCN por kg de polpa de raiz fresca (BORGES; FUKUDA; ROSSETTI, 2002). As cultivares classificadas como bravas são impróprias para o consumo *in natura*, sendo indicadas para a indústria, com toxicidade reduzida durante o processamento (BORGES; FUKUDA; ROSSETTI, 2002).

Tolerante à seca, a mandioca é comumente produzida em áreas que recebem menos de 700 mm de chuva por ano e têm estação seca de 4-6 meses (EL-SHARKAWY, 2012). Além disso, ela cresce em solos pobres, sob condições climáticas de alta temperatura e ataque de herbívoros e tem tempos flexíveis de plantio e colheita, tornando-a uma cultura economicamente importante e de subsistência (TUMUHIMBISE et al., 2015). No entanto, a

ausência desses fatores bióticos e abióticos limitadores proporcionam alto rendimento desta cultura (MUNYAHALI et al., 2017).

Glicosídeos cianogênicos, presentes na mandioca, constituem um importante grupo de metabólitos secundários, envolvidos na defesa de plantas contra artrópodes herbívoros (GLEADOW; MØLLER, 2014). Por isso, com a grande quantidade de ácaros, gafanhotos, percevejos, cochonilhas, moscas brancas, tripses, cupins e formigas associadas a esta planta (PARSA; MEDINA; RODRÍGUEZ, 2015; PINTO-ZEVALLOS; PAREJA; AMBROGI, 2016), apenas algumas espécies praga especialistas têm potencial para causar perdas de rendimento (BELLOTTI; SMITH; LAPOINTE, 1999; FAO, 2013). Em contraste com os generalistas, os artrópodes especializados têm co-evoluído com seus hospedeiros e são capazes de tolerar ou desintoxicar produtos químicos defensivos (PINTO-ZEVALLOS; PAREJA; AMBROGI, 2016). Assim, as principais pragas da mandioca são o ácaro-verde-da-mandioca *M. tanajoa*, o mandarová-da-mandioca *Erinnyis ello* (Mooser, 1942) (Lepidoptera: Sphingidae), a cochonilha *Phenacoccus manihoti* (Matile-Ferrero, 1977) (Hemiptera: Pseudococcidae), bem como as moscas-brancas e algumas espécies de tripses (PINTO-ZEVALLOS; PAREJA; AMBROGI, 2016).

2.5 *Mononychellus tanajoa*

O ácaro-verde-da-mandioca, *M. tanajoa* (Figura 1), é praga chave e causa grandes perdas na produção de raízes (PINTO-ZEVALLOS; PAREJA; AMBROGI, 2016). Provavelmente nativo do Nordeste do Brasil, local do seu primeiro relato em 1938 (BELLOTTI; SMITH; LAPOINTE, 1999), esse ácaro foi relatado em Uganda décadas depois (1971), e até 1985 se espalhou pela maior parte da região produtora do continente Africano, ocorrendo em 27 países (YANINEK; HERREN, 1988). Na África, por exemplo, as perdas causadas por *M. tanajoa* chegam a 80% (YANINEK; HERREN, 1988), na China, 60% (CHEN et al., 2010) e em Pernambuco, 51% (MORAES; FLECHTMANN, 2008).

Encontrado com frequência na parte abaxial das folhas, *M. tanajoa* causa injúrias que podem ser observadas em todas as folhas da planta, com predominância na região apical, resultando em pontuações translúcidas, áreas verde-pálidas, bronzeamento, deformações do limbo e redução do crescimento dos internódios (MORAES; FLECHTMANN, 2008). Os danos são causados quando o ácaro perfura e suga o conteúdo de células epidérmicas e parenquimatosas, diminuindo o número de cloroplastos das folhas de mandioca (BELLOTTI, 2002) e conseqüentemente a área fotossintética da planta. O esvaziamento das células resulta em pontuações translúcidas e a remoção dos cloroplastos em áreas verdes-pálidas (MORAES; FLECHTMANN, 2008). Plantas muito atacadas perdem as folhas e hastes progressivamente de cima para baixo, o que em seguida ocasiona a sua morte (MORAES; FLECHTMANN, 2008).



FIGURA 1: Colônia do ácaro-verde-da-mandioca *Mononychellus tanajoa*.

A biologia de *M. tanajoa*, que inclui o tempo de desenvolvimento, fecundidade e longevidade dos adultos, depende da temperatura, umidade relativa, cultivar de mandioca

hospedeira e o sexo (YANINEK; GUTIERREZ; HERREN, 1989). O período de desenvolvimento de ovo a adulto de *M. tanajoa* em folhas de mandioca cv. Amarela BR 1667, a 27° C e umidade relativa de 60 ±20%, foi cerca de 10 dias, com aproximadamente 84 ovos por fêmea e 5 ovos por fêmea/dia (SILVA et al., 2013a).

As maiores populações de *M. tanajoa*, no estado do Maranhão, ocorrem na estação seca, influenciada principalmente pelos fatores abióticos (RÊGO et al., 2013). A precipitação é o fator que mais afeta a variação na densidade populacional de *M. tanajoa* ao longo do ano, com correlação negativa entre esses fatores (RÊGO et al., 2013). Essa relação negativa ocorre porque as chuvas lavam as colônias de ácaros das folhas (YANINEK; GUTIERREZ; HERREN, 1989). Adicionalmente, valores de umidade relativa abaixo de 30% e acima de 90% afetaram negativamente o desenvolvimento, fecundidade e sobrevivência de espécies de *Mononychellus* (BONATO; MAPANGOU-DIVASSA; GUTIERREZ, 1995). A temperatura, geralmente acima de 30°C durante a estação seca (julho – dezembro), teve pouca influência sobre a flutuação populacional de *M. tanajoa* (RÊGO et al., 2013).

2.6 Estratégias de controle de *Mononychellus tanajoa*

As principais estratégias para controlar *M. tanajoa* incluem a resistência de plantas e controle biológico, utilizando inimigos naturais e entomopatógenos (AGBOTON et al., 2013; ONZO; BELLO; HANNA, 2013; PARSA; MEDINA; RODRÍGUEZ, 2015; ZANNOU et al., 2007). Poucas cultivares combinam resistência a pragas e doenças com boas características agronômicas (DIXON; NGEVE; NUKENINE, 2002; MAHUNGU; DIXON; KUMBIRA, 1994; MUTISYA et al., 2013). O fungo entomopatogênico *Neozygites tanajoe* Delalibera Jr., Humber & Hajek, 2004 (Zygomycetes: Entomophthorales) infecta *M. tanajoa* no Nordeste do Brasil (DELALIBERA JR et al., 1992; ELLIOT et al., 2000), mas está restrito às condições de umidade adequadas (DELALIBERA et al., 2006). O ácaro predador *Typhlodromalus aripo* De Leon, 1967 (Acari: Phytoseiidae) é o agente mais eficaz no controle de *M. tanajoa* no Brasil e na África (ONZO et al., 2005; ONZO; HANNA; SABELIS, 2003). Vários ácaros predadores pertencentes ao gênero *Euseius* (Acari: Phytoseiidae) são classificados como generalistas e além de predação *M. tanajoa*, utilizam pólen e outros alimentos alternativos (CROFT; BLACKWOOD; MCMURTRY, 2004; MCMURTRY; CROFT, 1997). Espécies de crisopídeos, como *Mallada astur* Banks e *Plesiochrysa ramburi* (Schneider, 1851) (Neuroptera: Chrysopidae), habitam naturalmente campos de mandioca e geralmente regulam pragas de mandioca (BOOPATHI et al., 2017; SATTAYAWONG; URAICHUEN; SUASA-ARD, 2016).

Os crisopídeos são um dos principais grupos de predadores generalistas em agroecossistemas neotropicais (CORDEIRO et al., 2010; ONO et al., 2017; RUGNO; ZANARDI; YAMAMOTO, 2015), por sua grande capacidade reprodutiva, voracidade, capacidade de busca e plasticidade ecológica (KHUHRO et al., 2014; RUGNO; ZANARDI; YAMAMOTO, 2015). Suas larvas exibem comportamento predatório durante toda a fase de desenvolvimento, que consiste de três instares (FONSECA; CARVALHO; SOUZA, 2000) e se alimentam de pulgões, cochonilhas, moscas brancas, psilídeos e ácaros (GODOY et al., 2010; PAPPAS; BROUFAS; KOVEOS, 2011; TAUBER et al., 2000).

Espécies do gênero *Ceraeochrysa* têm potencial para utilização em programas de controle biológico, pela facilidade de produção massal (LÓPEZ-ARROYO; TAUBER; TAUBER, 1999). Os adultos não precisam de presas, se reproduzem quando alimentados com dietas artificiais e podem ser criados por longos períodos, sem perda significativa do potencial reprodutivo (LÓPEZ-ARROYO; TAUBER; TAUBER, 1999). As larvas podem se desenvolver quando alimentadas com presas artificiais (LÓPEZ-ARROYO; TAUBER; TAUBER, 1999). Além disso, se camuflam com restos de presas, secreções cerosas, exúvia e várias partes de plantas, e portanto, apresentam vantagem adicional na proteção contra seus próprios inimigos naturais, como por exemplo, formigas (LÓPEZ-ARROYO; TAUBER; TAUBER, 1999; TAUBER et al., 2000).

Dessa forma, ácaros predadores especialistas e generalistas da família Phytoseiidae e insetos predadores, principalmente crisopídeos, frequentemente regulam a população de *M. tanajoa* (BOOPATHI et al., 2017; RÊGO et al., 2013; SATTAYAWONG; URAICHUEN; SUASA-ARD, 2016; ZANNOU et al., 2007). Porém, geralmente, esses agentes não conseguem responder às crescentes populações de *M. tanajoa* durante a estação seca (ONZO; BELLO; HANNA, 2013; ONZO; HANNA; SABELIS, 2003; RÊGO et al., 2013) e outras estratégias precisam ser adotadas, priorizando a conservação destes organismos.

Para aumentar a sustentabilidade dos sistemas de produção da mandioca, estratégias de controle de pragas que sejam ambientalmente amigáveis e economicamente acessíveis aos produtores precisam ser desenvolvidas e implementadas (PINTO-ZEVALLOS; PAREJA; AMBROGI, 2016). Assim, metabólitos de plantas, como os presentes nos óleos essenciais cítricos, que sejam bioativos a *M. tanajoa* e seletivos a seu predador *C. caligata* (Figura 2) podem ser uma estratégia promissora no manejo dessa praga.



FIGURA 2: Larva de primeiro instar do crisopídeo *Ceraeochrysa caligata*.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGBOTON, B. V.; HANNA, R.; ONZO, A.; VIDAL, S.; VON TIEDEMANN, A. Interactions between the predatory mite *Typhlodromalus aripo* and the entomopathogenic fungus *Neozygites tanajoae* and consequences for the suppression of their shared prey/host *Mononychellus tanajoa*. **Experimental and Applied Acarology**, v. 60, n. 2, p. 205–217, 2013.
- AKHTAR, Y.; ISMAN, M. B. Plant natural products for pest management: the magic of mixtures. In: ISHAAYA, I.; PALLI, S. R.; HOROWITZ, A. R. (Eds.). **Advanced Technologies for Managing Insect Pests**. 1. ed. Netherlands, Dordrecht: [s.n.]. p. 231–247.
- AKINTONWA, A.; TUNWASHE, O.; ONIFADE, A. Fatal and non-fatal acute poisoning attributed to cassava-based meal. **Acta Horticulturae**, n. 375, p. 285–288, 1994.
- ALMEIDA, C. O.; PASSOS, O. S. **Citricultura brasileira em busca de novos rumos Desafios e oportunidades na região Nordeste**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2011.
- ALQUÉZAR, B.; RODRÍGUEZ, A.; LA PEÑA, M.; PEÑA, L. Genomic analysis of terpene synthase family and functional characterization of seven sesquiterpene synthases from *Citrus sinensis*. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1481, 2017.
- ANGGRAINI, V.; SUDARMONOWATI, E.; SRI HARTATI, N.; SUURS, L.; VISSER, R. G. F. Characterization of cassava starch attributes of different genotypes. **Starch - Stärke**, v. 61, n. 8, p. 472–481, 2009.

AULER, P. A. M.; FIORI-TUTIDA, A. C. G.; TAZIMA, Z. H. Comportamento da laranjeira “Valência” sobre seis porta-enxertos no noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 1, p. 229–234, 2008.

BACCI, L.; FERNANDES, F.; PICANÇO, M.; CRESPO, A.; CAMPOS, M. Seletividade fisiológica de inseticidas a vespas predadoras (Hymenoptera: Vespidae) de *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). **BioAssay**, v. 1, n. 1, 2009.

BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D.; IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils – A review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 2, p. 446–475, 2008.

BARBOSA, C. J.; RODRIGUES, A. S. Tristeza dos citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 3, p. i–i, 2014.

BELLOTTI, A. C. Cassava: biology, production, and utilization. In: HILLOCKS, R. J.; THRESH, J. M.; BELLOTTI, A. C. (Eds.) . **Arthropod Pests**. Oxon: CAB International, 2002. p. 209–235.

BELLOTTI, A. C.; SMITH, L.; LAPOINTE, S. L. Recent advances in cassava pest management. **Annual Review of Entomology**, v. 44, n. 1, p. 343–370, 1999.

BENELLI, G.; PAVELA, R.; GIORDANI, C.; CASETTARI, L.; CURZI, G.; CAPPELLACCI, L.; PETRELLI, R.; MAGGI, F. Acute and sub-lethal toxicity of eight essential oils of commercial interest against the filariasis mosquito *Culex quinquefasciatus* and the housefly *Musca domestica*. **Industrial Crops and Products**, v. 112, p. 668–680, 2018.

BICCHI, C. Citrus oils: composition, advanced analytical techniques, contaminants and biological activity. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 27, n. 3, p. 260–261, 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.; MAPANGOU-DIVASSA, S.; GUTIERREZ, J. Influence of relative humidity on life-history parameters of *Mononychellus progresivus* and *Oligonychus gossypii* (Acari: Tetranychidae). **Environmental Entomology**, v. 24, n. 4, p. 841–845, 1995.

BOOPATHI, T.; MEENA, K. S.; RAVI, M.; THIRUNAVUKARASU, K. Impact of insecticides on spiralling whitefly, *Aleurodicus dispersus* (Hemiptera: Aleyrodidae) and its natural enemy complex in cassava under open field conditions. **Crop Protection**, v. 94, p. 137–143, 2017.

BORGES, M. F.; FUKUDA, W. M. G.; ROSSETTI, A. E. G. Avaliação de variedades de mandioca para consumo humano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 11, p. 1559–1565, 2002.

BOVÉ, J. M. Huanglingbing and the future of citrus in São Paulo State, Brazil. **Journal of Plant Pathology**, v. 94, n. 3, p. 465–467, 2012.

BURT, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods - a review. **International Journal of Food Microbiology**, v. 94, n. 3, p. 223–253, 2004.

CAMARA, C. A. G.; AKHATAR, Y.; ISMAN, M. B.; SEFFRIN, R. C.; BORN, F. S. Repellent activity of essential oils from two species of *Citrus* against *Tetranychus urticae* in the laboratory and greenhouse. **Crop Protection**, v. 74, p. 110–115, 2015.

- CAMPOLO, O.; ROMEO, F. V.; ALGERI, G. M.; LAUDANI, F.; MALACRINÒ, A.; TIMPANARO, N.; PALMERI, V. Larvicidal effects of four citrus peel essential oils against the arbovirus vector *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 109, n. 1, p. 360–365, 2016.
- CAMPOLO, O.; CHERIF, A.; RICUPERO, M.; SISCARO, G.; GRISSA-LEBDI, K.; RUSSO, A.; CUCCI, L. M.; DI PIETRO, P.; SATRIANO, C.; DESNEUX, N.; BIONDI, A.; ZAPPALÀ, L.; PALMERI, V. Citrus peel essential oil nanoformulations to control the tomato borer, *Tuta absoluta*: chemical properties and biological activity. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 13036, 2017.
- CAPUTO, M. M.; MOURÃO FILHO, F. A. A.; SILVA, S. R.; BREMER NETO, H.; COUTO, H. T. Z.; STUCHI, E. S. Seleção de cultivares de laranja doce de maturação precoce por índices de desempenho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 11, p. 1669–1672, 2012.
- CARDOSO, A. P.; MIRIONE, E.; ERNESTO, M.; MASSAZA, F.; CLIFF, J.; REZAUL HAQUE, M.; BRADBURY, J. H. Processing of cassava roots to remove cyanogens. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 18, n. 5, p. 451–460, 2005.
- CARVALHO, H. W. L.; MARTINS, C. R.; TEODORO, A. V.; SOARES FILHO, W. S.; PASSOS, O. S. Agronomical performance of “Piemonte” mandarin grafted on several rootstocks in the Brazilian Coastal Tablelands. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 11, p. 1830–1838, 2016a.
- CARVALHO, L. M.; CARVALHO, H. W. L.; SOARES FILHO, W. S.; MARTINS, C. R.; PASSOS, O. S. Porta-enxertos promissores, alternativos ao limoeiro “Cravo”, nos Tabuleiros Costeiros de Sergipe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 2, p. 132–141, 2016b.
- CASTILHOS, R. V.; GRÜTZMACHER, A. D.; COATS, J. R. Acute toxicity and sublethal effects of terpenoids and essential oils on the predator *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae). **Neotropical Entomology**, v. 47, n. 2, p. 311–317, 2018.
- CHEN, Q.; LU, Z.; HUANG, G.; LI, K.; YE, J.; ZHANV, Z. General survey and safety assessment of cassava pests. **Chinese Journal of Tropical Crops**, v. 31, n. 5, p. 819–827, 2010.
- 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, n. 2, p. 553–558, 2004.
- CORDEIRO, E. M. G.; CORRÊA, A. S.; VENZON, M.; GUEDES, R. N. C. Insecticide survival and behavioral avoidance in the lacewings *Chrysoperla externa* and *Ceraeochrysa cubana*. **Chemosphere**, v. 81, n. 10, p. 1352–1357, 2010.
- CROFT, B. A.; BLACKWOOD, J. S.; MCMURTRY, J. A. Classifying life-style types of phytoseiid mites: diagnostic traits. **Experimental and Applied Acarology**, v. 33, n. 4, p. 247–260, 2004.
- CUNHA SOBRINHO, A. P.; PASSOS, O. S.; SOARES FILHO, W. S. Cultura dos citros. In: MAGALHÃES, A. F. J.; SOUZA, A. S.; PASSOS, O. S.; SOARES FILHO, W. S. (Eds.). **Cultura dos citros**. 1. ed. Brasília: EMBRAPA, 2013. p. 233–292.
- DELALIBERA JR, I.; DEMÉTRIO, C. G. B.; MANLY, B. F. J.; HAJEK, A. E. Effect of relative humidity and origin of isolates of *Neozygites tanajoae* (Zygomycetes: Entomophthorales) on production of conidia from cassava green mite, *Mononychellus tanajoa*

(Acari: Tetranychidae), cadavers. **Biological Control**, v. 39, n. 3, p. 489–496, 2006.

DELALIBERA JR, I.; GOMEZ, D. R. S.; MORAES, G. J.; ALENCAR, J. A.; ARAUJO, W. F. Infection of *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae) by the fungus *Neozygites* sp. (Entomophthorales) in Northeastern Brazil. **The Florida Entomologist**, v. 75, n. 1, p. 145, 1992.

DIXON, A. G.; NGEVE, J. M.; NUKENINE, E. N. Response of cassava genotypes to four biotic constraints in three agro-ecologies of Nigeria. **African Crop Science Journal**, v. 10, n. 1, 2002.

DRUŽIĆ, J.; JERKOVIĆ, I.; MARIJANOVIĆ, Z.; ROJE, M. Chemical biodiversity of the leaf and flower essential oils of *Citrus aurantium* L. from Dubrovnik area (Croatia) in comparison with *Citrus sinensis* L. Osbeck cv. Washington navel, *Citrus sinensis* L. Osbeck cv. Tarocco. **Journal of Essential Oil Research**, v. 28, n. 4, p. 283–291, 2016.

DUGO, G.; DI GIACOMO, A. **Citrus: the genus citrus**. 1. ed. London: CRC Press, 2002.

DUTRA, K. A. OLIVEIRA, J. V.; NAVARRO, D. M. A. F.; BARBOSA, D. R. E. S.; SANTOS, J. P. O. Control of *Callosobruchus maculatus* (FABR.) (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) in *Vigna unguiculata* (L.) WALP. with essential oils from four *Citrus* spp. plants. **Journal of Stored Products Research**, v. 68, n. 1, p. 25–32, 2016.

EBADOLLAHI, A. Iranian plant essential oils as sources of natural insecticide agents. **International Journal of Biological Chemistry**, v. 5, n. 5, p. 266–290, 2011.

EL-AKHAL, F.; LALAMI, A. E. O.; GUEMMOUH, R. Larvicidal activity of essential oils of *Citrus sinensis* and *Citrus aurantium* (Rutaceae) cultivated in Morocco against the malaria vector *Anopheles labranchiae* (Diptera: Culicidae). **Asian Pacific Journal of Tropical Disease**, v. 5, n. 6, p. 458–462, 1 jun. 2015.

EL-SHARKAWY, M. A. Stress-tolerant cassava: the role of integrative ecophysiology-breeding research in crop improvement. **Open Journal of Soil Science**, v. 2, p. 162–186, 2012.

ELLIOT, S. L.; MORAES, G. J.; DELALIBERA, I.; DA SILVA, C. A.; TAMAI, M. A.; MUMFORD, J. D. Potential of the mite-pathogenic fungus *Neozygites floridana* (Entomophthorales: Neozygitaceae) for control of the cassava green mite *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae). **Bulletin of Entomological Research**, v. 90, n. 3, p. 191–200, 2000.

FAO. **Sava and grow: cassava a guide to sustentable production intensification**. 1. ed. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013.

FAO. **Food and Agricultural Organization of the United Nations - statistics Database**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

FERHAT, M. A.; MEKLATI, B. Y.; CHEMAT, F. Comparison of different isolation methods of essential oil from citrus fruits: cold pressing, hydrodistillation and microwave “dry” distillation. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 22, n. 6, p. 494–504, 2007.

FONSECA, A. R.; CARVALHO, C. F.; SOUZA, B. Resposta funcional de *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) alimentada com *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 29, n. 2, p. 309–317, 2000.

- FOUAD, H. A.; CAMARA, C. A. G. Chemical composition and bioactivity of peel oils from *Citrus aurantiifolia* and *Citrus reticulata* and enantiomers of their major constituent against *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 73, p. 30–36, 2017.
- FRANÇA, N. D. O.; AMORIM, M. D. S.; GIRARDI, E. A.; PASSOS, O. S.; SOARES FILHO, W. D. S. Performance of “Tuxpan valencia” sweet orange grafted onto 14 rootstocks in northeastern Bahia, Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, n. 4, 2016.
- GARCIA-LOR, A.; CURK, F.; SNOUSSI-TRIFA, H.; MORILLON, R.; ANCILLO, G.; LURO, F.; OLLITRAULT, P. A nuclear phylogenetic analysis: SNPs, indels and SSRs deliver new insights into the relationships in the “true citrus fruit trees” group (Citrinae, Rutaceae) and the origin of cultivated species. **Annals of Botany**, v. 111, n. 1, p. 1–19, 2013.
- GERACI, A. Di Stefano, V.; Di Martino, E.; Schillaci, D.; Schicchi, R. Essential oil components of orange peels and antimicrobial activity. **Natural Product Research**, v. 31, n. 6, p. 653–659, 2017.
- GIATROPOULOS, A.; PAPACHRISTOS, D. P.; KIMBARIS, A.; KOLIOPOULOS, G.; POLISSIOU, M. G.; EMMANOUEL, N.; MICHAELAKIS, A. Evaluation of bioefficacy of three citrus essential oils against the dengue vector *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in correlation to their components enantiomeric distribution. **Parasitology Research**, v. 111, n. 6, p. 2253–2263, 2012.
- GLEADOW, R. M.; MØLLER, B. L. Cyanogenic glycosides: synthesis, physiology, and phenotypic plasticity. **Annual Review of Plant Biology**, v. 65, n. 1, p. 155–185, 2014.
- GODOY, M. S.; CARVALHO, G. A.; CARVALHO, B. F.; LASMAR, O. Seletividade fisiológica de inseticidas em duas espécies de crisopídeos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 11, p. 1253–1258, 2010.
- GONÇALVES, M. E. C.; OLIVEIRA, J. V.; BARROS, R.; LIMA, M. P. L. Extratos aquosos de plantas e o comportamento do ácaro verde da mandioca. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 3, p. 475–479, 2001.
- GONZÁLEZ-MAS, M. C.; RAMBLA, J. L.; ALAMAR, M. C.; GUTIÉRREZ, A.; GRANELL, A. Comparative analysis of the volatile fraction of fruit juice from different *Citrus* Species. **PLoS ONE**, v. 6, n. 7, p. e22016, 2011.
- HODGSON, R. W. Horticultural varieties of citrus. In: REUTHER, W.; WEBBER, H. J. BATCHELOR, L. D. (Eds.). **The Citrus Industry**. 1. ed. Berkeley: University of California, 1967. p. 431–589.
- HONG, J. H.; KHAN, N.; JAMILA, N.; HONG, Y. S.; NHO, E. Y.; CHOI, J. Y.; KIM, K. S. Determination of volatile flavour profiles of *Citrus* spp. fruits by SDE-GC-MS and enantiomeric composition of chiral compounds by MDGC-MS. **Phytochemical Analysis**, v. 28, n. 5, p. 392–403, 2017.
- HUSNU CAN BASER, K.; BUCHBAUER, G. **Handbook of essential oils: science, technology, and applications**. 2. ed. London New York: CRC Press, 2015.
- IBGE. **Produção agrícola municipal - SIDRA**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 23 abr. 2018.

- ISMAN, M. B. Plant essential oils for pest and disease management. **Crop Protection**, v. 19, n. 8–10, p. 603–608, 2000.
- ISMAN, M. B. A renaissance for botanical insecticides? **Pest Management Science**, v. 71, n. 12, p. 1587–1590, 2015.
- ISMAN, M. B. Bridging the gap: moving botanical insecticides from the laboratory to the farm. **Industrial Crops and Products**, v. 110, p. 10–14, 2017.
- JESSER, E. N.; WERDIN-GONZÁLEZ, J. O.; MURRAY, A. P.; FERRERO, A. A. Efficacy of essential oils to control the indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae). **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 20, n. 4, p. 1122–1129, 2017.
- JING, L.; LEI, Z.; LI, L.; XIE, R.; XI, W.; GUAN, Y.; ZHOU, Z. Antifungal activity of *Citrus* essential oils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 14, p. 3011–3033, 2014.
- KASALI, A. A.; LAWAL, O. A.; ESHILOKUN, A. O.; OLANIYAN, A. A.; OPOKU, A. R.; SETZER, W. N. Citrus essential oil of Nigeria. Part V: Volatile constituents of sweet orange leaf oil (*Citrus sinensis*). **Natural Product Communications**, v. 6, n. 6, p. 875–8, 2011.
- KHANI, A.; ASGHARI, J. Insecticide activity of essential oils of *Mentha longifolia*, *Pulicaria gnaphalodes* and *Achillea wilhelmsii* against two stored product pests, the flour beetle, *Tribolium castaneum*, and the cowpea weevil. **Journal of Insect Science (Online)**, v. 12, p. 73, 2012.
- KHORSHIDIAN, N.; YOUSEFI, M.; KHANNIRI, E.; MORTAZAVIAN, A. M. Potential application of essential oils as antimicrobial preservatives in cheese. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 45, p. 62–72, 2018.
- KHUHRO, N. H.; BIONDI, A.; DESNEUX, N.; ZHANG, L.; ZHANG, Y.; CHEN, H. Trade-off between flight activity and life-history components in *Chrysoperla sinica*. **BioControl**, v. 59, n. 2, p. 219–227, 2014.
- KOUL, O.; WALIA, S.; DHALIWAL, G. S. Essential oils as green pesticides: Potential and constraints. **Biopesticides International**, v. 4, n. 1, p. 63–84, 2008.
- KUMMER, R.; FACHINI-QUEIROZ, F. C.; ESTEVÃO-SILVA, C. F.; GRESPAN, R.; SILVA, E. L.; BERSANI-AMADO, C. A.; CUMAN, R. K. N. Evaluation of anti-inflammatory activity of *Citrus latifolia* Tanaka essential oil and limonene in experimental mouse models. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2013, p. 1–8, 2013.
- LÓPEZ-ARROYO, J. I.; TAUBER, C. A.; TAUBER, M. J. Comparative life histories of the predators *Ceraeochrysa cincta*, *C. cubana*, and *C. smithi* (Neuroptera: Chrysopidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 92, n. 2, p. 208–217, 1999.
- MAHMOUDVAND, M.; ABBASIPOUR, H.; BASIJ, M.; HOSSEINPOUR, M. H.; RASTEGAR, F.; NASIRI, M. B. Fumigant toxicity of some essential oils on adults of some stored-product pests. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 71, n. 1, p. 83–89, 2011.
- MAHUNGU, N. M.; DIXON, A. G. O.; KUMBIRA, J. M. Breeding cassava for multiple pest resistance in Africa. **African Crop Science Journal**, v. 2, n. 4, p. 539–552, 1994.
- MARTINS, C. R.; CARVALHO, H. W. L.; TEODORO, A. V.; SOARES FILHO, W. S.; PASSOS, O. S. Agronomical performance of citrus scion cultivars grafted on Rangpur lime in

north-eastern Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 1, p. 16–23, 2016.

MCMURTRY, J. A.; CROFT, B. A. Life-styles of phytoseiid mites and their roles in biological control. **Annual Review of Entomology**, v. 42, n. 1, p. 291–321, 1997.

MICHAELAKIS, A.; PAPACHRISTOS, D.; KIMBARIS, A.; KOLIOPOULOS, G.; GIATROPOULOS, A.; POLISSIOU, M. G. Citrus essential oils and four enantiomeric pinenes against *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae). **Parasitology Research**, v. 105, n. 3, p. 769–773, 2009.

MISRA, G.; PAVLOSTATHIS, S. G.; PERDUE, E. M.; ARAUJO, R. Aerobic biodegradation of selected monoterpenes. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 45, n. 6, p. 831–8, 1996.

MLINGI, N.; POULTER, N. H.; ROSLING, H. An outbreak of acute intoxications from consumption of insufficiently processed cassava in Tanzania. **Nutrition Research**, v. 12, n. 6, p. 677–687, 1992.

MORAES, G.; FLECHTMANN, C. **Manual de acarologia: acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil**. 1. ed. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2008.

MUNYAHALI, W.; PYPERS, P.; SWENNEN, R.; WALANGULULU, J.; VANLAUWE, B.; MERCKX, R. Responses of cassava growth and yield to leaf harvesting frequency and NPK fertilizer in South Kivu, Democratic Republic of Congo. **Field Crops Research**, v. 214, p. 194–201, 2017.

MUTISYA, D. L.; KHAMALA, C. P. M.; BANHAWY, E. M. E.; KARIUKI, C. W.; RAGWA, S. Cassava variety tolerance to spider mite attack in relation to leaf cyanide level. **Journal of Biology, Agriculture and Healthcare**, v. 3, n. 5, p. 24–30, 2013.

NDAKIDEMI, B.; MTEI, K.; NDAKIDEMI, P. A. Impacts of synthetic and botanical pesticides on beneficial insects. **Agricultural Sciences**, v. 7, p. 364–372, 2016.

ONO, É. K.; ZANARDI, O. Z.; AGUIAR SANTOS, K. F.; YAMAMOTO, P. T. Susceptibility of *Ceraeochrysa cubana* larvae and adults to six insect growth-regulator insecticides. **Chemosphere**, v. 168, p. 49–57, 2017.

ONZO, A.; HANNA, R.; NEGLOH, K.; TOKO, M.; SABELIS, M. W. Biological control of cassava green mite with exotic and indigenous phytoseiid predators - Effects of intraguild predation and supplementary food. **Biological Control**, v. 33, n. 2, p. 143–152, 2005.

ONZO, A.; BELLO, I. A.; HANNA, R. Effects of the entomopathogenic fungus *Neozygites tanajoae* and the predatory mite *Typhlodromalus aripo* on cassava green mite densities: greenhouse experiments. **BioControl**, v. 58, n. 3, p. 397–405, 2013.

ONZO, A.; HANNA, R.; SABELIS, M. W. Interactions in an acarine predator guild: impact on *Typhlodromalus aripo* abundance and biological control of cassava green mite in Benin, West Africa. **Experimental & Applied Acarology**, v. 31, n. 3–4, p. 225–41, 2003.

PAPPAS, M. L.; BROUFAS, G. D.; KOVEOS, D. S. Chrysopid predators and their role in biological control. **Journal of Entomology**, v. 8, n. 3, p. 301–326, 2011.

PARSA, S.; MEDINA, C.; RODRÍGUEZ, V. Sources of pest resistance in cassava. **Crop Protection**, v. 68, p. 79–84, 2015.

PASSOS, O. S.; CUNHA SOBRINHO, A. P.; SOARES FILHO, W. S. Cultivares copa. In: CUNHA SOBRINHO, A. P. et al. (Eds.). **Cultura dos citros**. 1. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. p. 293–319.

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.

PAVELA, R. Essential oils for the development of eco-friendly mosquito larvicides: A review. **Industrial Crops and Products**, v. 76, p. 174–187, 2015.

PAVELA, R.; BENELLI, G. Essential oils as ecofriendly biopesticides? challenges and constraints. **Trends in Plant Science**, v. 21, n. 12, p. 1000–1007, 2016.

PINTO-ZEVALLOS, D. M.; PAREJA, M.; AMBROGI, B. G. Current knowledge and future research perspectives on cassava (*Manihot esculenta* Crantz) chemical defenses: An agroecological view. **Phytochemistry**, v. 130, p. 10–21, 2016.

PLATA-RUEDA, A.; CAMPOS, J. M.; SILVA ROLIM, G.; MARTÍNEZ, L. C.; SANTOS, M. H.; FERNANDES, F. L.; ZANUNCIO, J. C. Terpenoid constituents of cinnamon and clove essential oils cause toxic effects and behavior repellency response on granary weevil, *Sitophilus granarius*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 156, p. 263–270, 2018.

POMPEU JUNIOR, J. Porta-enxertos. In: RODRIGUEZ, O. et al. (Eds.) . **Citricultura brasileira**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargil, 1991. p. 265–280.

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, n. 1, p. 405–424, 2012.

RÊGO, A. S.; TEODORO, A. V.; MACIEL, A. G. S.; SARMENTO, R. A. Relative contribution of biotic and abiotic factors to the population density of the cassava green mite, *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae). **Experimental and Applied Acarology**, v. 60, n. 4, p. 479–484, 2013.

REHMAN, J. U.; ALI, A.; KHAN, I. A. Plant based products: Use and development as repellents against mosquitoes: A review. **Fitoterapia**, v. 95, p. 65–74, 2014.

RIBEIRO, R. C.; ZANUNCIO, T. V.; RAMALHO, F. S.; SILVA, C. A. D.; SERRÃO, J. E.; ZANUNCIO, J. C. Feeding and oviposition of *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae) with sublethal concentrations of ten condiments essential oils. **Industrial Crops and Products**, v. 74, p. 139–143, 2015.

ROSSI, Y. E.; PALACIOS, S. M. Fumigant toxicity of *Citrus sinensis* essential oil on *Musca domestica* L. adults in the absence and presence of a P450 inhibitor. **Acta Tropica**, v. 127, n. 1, p. 33–7, 2013.

RUBERTO, G.; RENDA, A.; PIATTELLI, M.; RAPISARDA, P.; ANGELO, S. Essential oil of two new pigmented *Citrus* hybrids, *Citrus clementina* × *Citrus sinensis*. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 45, n. 2, p. 467–471, 1997.

RUGNO, G. R.; ZANARDI, O. Z.; YAMAMOTO, P. T. Are the pupae and eggs of the lacewing *Ceraeochrysa cubana* (Neuroptera: Chrysopidae) tolerant to insecticides? **Journal of Economic Entomology**, v. 108, n. 6, p. 2630–2639, 2015.

RUIZ-PÉREZ, N. J.; GONZÁLEZ-ÁVILA, M.; SÁNCHEZ-NAVARRETE, J.; TOSCANO-GARIBAY, J. D.; MORENO-EUTIMIO, M. A.; SANDOVAL-HERNÁNDEZ, T.; ARRIAGA-ALBA, M. Antimycotic activity and genotoxic evaluation of *Citrus sinensis* and *Citrus latifolia* essential oils. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 25371, 2016.

SATTAYAWONG, C.; URAICHUEN, S.; SUASA-ARD, W. Larval preference and performance of the green lacewing, *Plesiochrysa ramburi* (Schneider) (Neuroptera: Chrysopidae) on three species of cassava mealybugs (Hemiptera: Pseudococcidae). **Agriculture and Natural Resources**, v. 50, n. 6, p. 460–464, 2016.

SHEN, C. Y.; JIANG, J. G.; ZHU, W.; OU-YANG, Q. Anti-inflammatory effect of essential oil from *Citrus aurantium* L. var. amara Engl. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 39, p. 8586–8594, 2017.

SHIMADA, T.; ENDO, T.; FUJII, H.; RODRÍGUEZ, A.; PEÑA, L.; OMURA, M. Characterization of three linalool synthase genes from *Citrus unshiu* Marc. and analysis of linalool-mediated resistance against *Xanthomonas citri* subsp. *citri* and *Penicillium italicum* in citrus leaves and fruits. **Plant Science**, v. 229, p. 154–166, 2014.

SHISHIDO, H.; MIYAMOTO, Y.; OZAWA, R.; TANIGUCHI, S.; TAKABAYASHI, J.; AKIMITSU, K.; GOMI, K. Geraniol synthase whose mRNA is induced by host-selective ACT-toxin in the ACT-toxin-insensitive rough lemon (*Citrus jambhiri*). **Journal of Plant Physiology**, v. 169, n. 14, p. 1401–1407, 2012.

SILVA, A. C.; TEODORO, A. V.; OLIVEIRA, E. E.; RÊGO, A. S.; SILVA, R. R. Toxicity of neem oil to the cassava green mite *Mononychellus tanajoa* (Bondar) (Acari: Tetranychidae). **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 73, n. 3, p. 315–319, 2013a.

SILVA, S. R.; STUCHI, E. S.; GIRARDI, E. A.; CANTUARIAS-AVILÉS, T.; BASSAN, M. M. Desempenho da tangerineira “Span Americana” em diferentes porta -enxertos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 4, p. 1052–1058, 2013b.

STROH, J.; WAN, M. T.; ISMAN, M. B.; MOUL, D. J. Evaluation of the acute toxicity to juvenile pacific coho salmon and rainbow trout of some plant essential oils, a formulated product, and the carrier. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 60, n. 6, p. 923–930, 1998.

SUTTHANONT, N.; CHOOCHOTE, W.; TUETUN, B.; JUNKUM, A.; JITPAKDI, A.; CHIATONG, U.; RIYONG, D.; PITASAWAT, B. Chemical composition and larvicidal activity of edible plant-derived essential oils against the pyrethroid-susceptible and -resistant strains of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). **Journal of Vector Ecology: journal of the Society for Vector Ecology**, v. 35, n. 1, p. 106–115, jun. 2010.

TANDOROST, R.; ZOOL, Y. K.-M. E.; U. Evaluation of fumigant toxicity of orange peel *Citrus sinensis* (L.) essential oil against three stored product insects in laboratory condition. **Munis Entomology & Zoology**, v. 7, n. 1, p. 352–358, 2012.

TAUBER, C. A.; LEÓN, T.; PENNY, N. D.; TAUBER, M. J. The genus *Ceraeochrysa* (Neuroptera: Chrysopidae) of America North of Mexico: larvae, adults, and comparative biology. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 93, n. 6, p. 1195–1221, 2000.

TONUKARI, N. J.; EZEDOM, T., ENUMA, C. C., SAKPA, S. O., AVWIOROKO, O. J., ERAGA, L., & ODIYOMA, E. White gold: cassava as an industrial base. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, n. 6, p. 972–979, 2015.

TORRES-ALVAREZ, C.; NÚÑEZ GONZÁLEZ, A.; RODRÍGUEZ, J.; CASTILLO, S.; LEOS-RIVAS, C.; BÁEZ-GONZÁLEZ, J. G. Chemical composition, antimicrobial, and antioxidant activities of orange essential oil and its concentrated oils. **CyTA - Journal of Food**, v. 15, n. 1, p. 129–135, 2017.

TUMUHIMBISE, R.; SHANAHAN, P.; MELIS, R.; KAWUKI, R. Genetic variation and association among factors influencing storage root bulking in cassava. **The Journal of Agricultural Science**, v. 153, n. 7, p. 1267–1280, 2015.

VILLAFañE, E.; TOLOSA, D.; BARDÓN, A.; NESKE, A. Toxic effects of *Citrus aurantium* and *C. limon* essential oils on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Natural Product Communications**, v. 6, n. 9, p. 1389–92, 2011.

WANAPAT, M.; KANG, S. Cassava chip (*Manihot esculenta* Crantz) as an energy source for ruminant feeding. **Animal Nutrition**, v. 1, n. 4, p. 266–270, 2015.

WERDIN GONZÁLEZ, J. O.; LAUMANN, R. A.; SILVEIRA, S.; MORAES, M. C. B.; BORGES, M.; FERRERO, A. A. Lethal and sublethal effects of four essential oils on the egg parasitoids *Trissolcus basal*s. **Chemosphere**, v. 92, n. 5, p. 608–615, 2013.

YAMASAKI, Y.; KUNOH, H.; YAMAMOTO, H.; AKIMITSU, K. Biological roles of monoterpene volatiles derived from rough lemon (*Citrus jambhiri* Lush) in citrus defense. **Journal of General Plant Pathology**, v. 73, n. 3, p. 168–179, 2007.

YANINEK, J. S.; GUTIERREZ, A. P.; HERREN, H. R. Dynamics of *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae) in Africa: Experimental evidence of temperature and host plant effects on population growth rates. **Environmental Entomology**, v. 18, n. 4, p. 633–640, 1989.

YANINEK, J. S.; HERREN, H. R. Introduction and spread of the cassava green mite, *Mononychellus tanajoa* (Bondar) (Acari: Tetranychidae), an exotic pest in Africa and the search for appropriate control methods: a review. **Bulletin of Entomological Research**, v. 78, n. 1, p. 1, 1988.

YOON, C.; KANG, S.; YANG, J.; NOH, D.; INDIRAGANDHI, P.; KIM, G. Repellent activity of citrus oils against the cockroaches *Blattella germanica*, *Periplaneta americana* and *P. fuliginosa*. **Journal of Pesticide Science**, v. 34, n. 2, p. 77–88, 2009.

ZAIN, A. H. M.; KAHAR, A. W. M.; NORIMAN, N. Z. Chemical-mechanical hydrolysis technique of modified thermoplastic starch for better mechanical performance. **Procedia Chemistry**, v. 19, p. 638–645, 2016.

ZANNOU, I. D.; HANNA, R.; AGBOTON, B.; DE MORAES, G. J.; KREITER, S.; PHIRI, G.; JONE, A. Native phytoseiid mites as indicators of non-target effects of the introduction of *Typhlodromalus aripo* for the biological control of cassava green mite in Africa. **Biological Control**, v. 41, n. 2, p. 190–198, 2007.

ZARRAD, K.; HAMOUDA, A. B.; CHAIEB, I.; LAARIF, A.; JEMÂA, J. M. B. Chemical composition, fumigant and anti-acetylcholinesterase activity of the tunisian *Citrus aurantium* L. essential oils. **Industrial Crops and Products**, v. 76, p. 121–127, 2015.

ZHONG, S.; REN, J.; CHEN, D.; PAN, S.; WANG, K.; YANG, S.; FAN, G. Free and bound volatile compounds in juice and peel of eureka lemon. **Food Science and Technology Research**, v. 20, n. 1, p. 167–174, 2014.

ZHOU, A.; THOMSON, E. The development of biofuels in Asia. **Applied Energy**, v. 86, n. 1, p. S11–S20, 2009.

4. ARTIGO

QUIMIODIVERSIDADE DOS COMPOSTOS VOLÁTEIS EM DIFERENTES COPAS DE *Citrus*: COMPOSIÇÃO, ENANTEREOESPECIFICIDADE DO LIMONENO, BIOATIVIDADE A PRAGA DE MANDIOCA E SELETIVIDADE A SEU PREDADOR

Periódico a ser submetido: **Industrial Crops and Products**

RESUMO

Os óleos essenciais das laranjeiras ‘Kona’ e ‘Pera CNPMF-D6’, tangerineira ‘Piemonte’ e limeira ácida ‘Persian lime 58’ foram avaliados quanto a sua composição e toxicidade juntamente com enantiômeros do limoneno ao ácaro-verde-da-mandioca *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae), praga chave dessa cultura. Ademais, avaliou-se o efeito subletal do óleo com menor CL_{50} na sobrevivência da praga e seletividade ao crisopídeo *Ceraeochrysa caligata* (Neuroptera: Chrysopidae), predador generalista de pequenos insetos e ácaros. Sabineno e linalol foram os principais componentes encontrados nos óleos das laranjeiras (39-45%) e tangerineira (38%), enquanto que o limoneno compõe mais de 52% do óleo da limeira ácida. Embora a CL_{50} do óleo de ‘Persian lime 58’ estimada a *M. tanajoa* (5,79 mg/mL) foi menor que a CL_{50} dos outros óleos e S-(–)-limoneno, não houve diferença na toxicidade. R-(+)-limoneno ($CL_{50} = 12,04$ mg/mL) foi menos tóxico a *M. tanajoa* comparado ao óleo de ‘Persian lime 58’. Assim, todos os óleos e S-(–)-limoneno tiveram potencial para o manejo de *M. tanajoa*. Adicionalmente, a sobrevivência do ácaro-verde-da-mandioca foi reduzida pela CL_{25} e CL_{50} do óleo essencial de ‘Persian lime 58’. Para *C. caligata*, esse óleo foi seletivo, baseado na mortalidade e predação.

Palavras-chave: Ácaro-verde-da-mandioca, Óleos essenciais de citros, Efeito subletal, *Ceraeochrysa caligata*.

Chemodiversity of volatile compounds in different *Citrus* scions: composition, enantiospecificity of limonene, bioactivity to pest of cassava and selectivity to its predator

ABSTRACT

Essential oils from ‘Kona’ and ‘Pera CNPMF-D6’ sweet oranges, ‘Piemonte’ mandarin, and ‘Persian lime 58’ acid lime were evaluated for their composition and toxicity, together with limonene enantiomers, against cassava green mite, *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae), a crucial pest of this crop. In addition, this work evaluated the sublethal effect of the essential oil with the lowest LC₅₀ on pest survival and selectivity to lacewing, *Ceraeochrysa caligata* (Neuroptera: Chrysopidae), a general predator of insects and mites. Sabinene and linalool were the major compounds found in the essential oils of the oranges (39-45%) and the mandarin (38%), while limonene composed more than 52% of the acid lime essential oil. Although the LC₅₀ estimates of the essential oil of ‘Persian lime 58’ estimated for *M. tanajoa* (5.79 mg/mL) were lower than the LC₅₀ of the other essential oils and the S(-)-limonene, they presented no differences regarding toxicity. However, R-(+)-limonene (LC₅₀ = 12.04 mg/mL) was less toxic to *M. tanajoa* when compared with ‘Persian lime 58’ essential oil. Thus, all essential oils and S(-)-limonene showed potential for *M. tanajoa* control. Moreover, the LC₂₅ and LC₅₀ of ‘Persian lime 58’ essential oil reduced cassava green mite survival. For *C. caligata*, ‘Persian lime 58’ essential oil was selective, based on mortality and predation.

Key-words: Cassava green mite, Essential oils of citrus, Sublethal effect, *Ceraeochrysa caligata*.

4.1. Introdução

Os óleos essenciais de plantas são misturas complexas de compostos de cadeia pequena, voláteis e lipofílicos, produzidos por diversas espécies (Benelli et al., 2018). Inúmeros óleos essenciais são bioativos a artrópodes pragas, com seu desempenho e de seus componentes variáveis de acordo com a suscetibilidade da espécie alvo (Khani e Asghari, 2012). Além da mortalidade, esses óleos podem interferir no período de vida, na alimentação, fertilidade, fecundidade e no comportamento de pragas (Benelli et al., 2018; Jesser et al., 2017; Plata-Rueda et al., 2018; Ribeiro et al., 2015). Por outro lado, óleos essenciais são geralmente pouco tóxicos a predadores, mas concentrações subletais podem induzir efeitos adversos (Castilhos et al., 2018).

Óleos essenciais de citros apresentam atividade antimicrobiana, antioxidante, anti-inflamatória, inseticida e acaricida (Camara et al., 2015; Dutra et al., 2016; Geraci et al., 2017; Ruiz-Pérez et al., 2016; Shen et al., 2017; Torres-Alvarez et al., 2017; Zarrad et al., 2015) e estão disponíveis de forma abundante no Brasil. Porém, esses óleos quando comercializados são provenientes da laranjeira ‘Pera’ [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck], cultivar copa mais difundida e economicamente importante no País (Passos et al., 2013) ou da mistura com outras cultivares. Embora a principal região produtora de citros do Nordeste do Brasil cultive principalmente a laranjeira ‘Pera’, outras cultivares vêm sendo estudadas, a exemplo da laranjeira ‘Kona’, tangerineira ‘Piemonte’ e limeira ácida ‘Persian lime 58’ (Carvalho et al., 2016; Martins et al., 2016). Diante disso, é possível que a composição e a bioatividade de óleos essenciais de diferentes cultivares copas de citros a pragas também varie. Os óleos essenciais dessas cultivares podem ser uma fonte direta de terpenos para serem utilizados no manejo integrado de pragas, sendo que a atividade acaricida de formas enantioméricas desses constituintes ainda é pouco conhecida.

Dentre os artrópodes especialistas que co-evoluíram com a cultura, o ácaro-verde-da-mandioca *Mononychellus tanajoa* (Bondar) (Acari: Tetranychidae) é praga chave e causa grandes perdas na produção de raízes (Pinto-Zevallos et al., 2016). Provavelmente nativo do

Nordeste do Brasil (Bellotti et al., 1999), esse ácaro disseminou-se pelo mundo. Na África, por exemplo, as perdas chegam a 80% (Yaninek e Herren, 1988); na China, 60% (Chen et al., 2010) e em Pernambuco, 51% da produção de mandioca (Gonçalves et al., 2001).

As principais estratégias para controlar *M. tanajoa* incluem a resistência de plantas e controle biológico, utilizando inimigos naturais e entomopatógenos (Agboton et al., 2013; Onzo et al., 2013; Parsa et al., 2015; Zannou et al., 2007). Poucas cultivares combinam resistência a pragas e doenças com boas características agronômicas (Dixon et al., 2002; Mahungu et al., 1994; Mutisya et al., 2013) e os entomopatógenos estão restritos às condições de alta umidade (Delalibera et al., 2006). Ácaros predadores, especialistas e generalistas da família Phytoseiidae e insetos predadores, principalmente crisopídeos, frequentemente regulam a população de *M. tanajoa* (Boopathi et al., 2017; Rêgo et al., 2013; Sattayawong et al., 2016; Zannou et al., 2007). Porém, geralmente, esses agentes não conseguem responder às crescentes populações de *M. tanajoa* durante a estação seca (Onzo et al., 2013, 2003; Rêgo et al., 2013) e outras estratégias devem ser adotadas. No entanto, as estratégias devem priorizar a conservação de organismos não alvo, principalmente os predadores. Metabólitos de plantas como os presentes nos óleos essenciais cítricos poderiam ser utilizados no manejo de *M. tanajoa*. Assim, neste trabalho avaliou-se a composição de óleos essenciais de cultivares copas de citros e sua bioatividade e de enantiômeros do limoneno a *M. tanajoa*, bem como seletividade ao crisopídeo *Ceraeochrysa caligata* Banks (Neuroptera: Chrysopidae).

4.2. Materiais e Métodos

4.2.1. Obtenção e criação de manutenção de *Mononychellus tanajoa* e *Ceraeochrysa caligata*

Plantas de mandioca, cultivar ‘Caravela’, foram cultivadas em vasos plásticos com capacidade de 11,5 Kg, para criação de *M. tanajoa* e coleta de folhas para confecção de arenas. O substrato utilizado foi composto por areia, terra preta e pó de coco, na proporção de 3:1:1. As plantas foram mantidas em condições de temperatura, umidade relativa e fotoperíodo natural de Aracaju (10°57’04’’ L, 37°02’58’’ O), Sergipe – SE, Brasil, e após 30 dias do plantio foram infestadas com *M. tanajoa* coletados de plantio comercial. A renovação de plantas foi constante, para atender a demanda de ácaros e folhas para os experimentos.

Ovos de *C. caligata* foram obtidos de criação estoque da Embrapa Tabuleiros Costeiros em Aracaju – SE e mantidos isoladamente em placas de petri de 5 cm de diâmetro e em condições controladas (temperatura 27 ± 2 °C, umidade relativa de 70 ± 10 %, e fotoperíodo de 12h) para a emergência de larvas. Após a emergência, pedaços de algodão embebidos com água foram distribuídos nas arenas para evitar a desidratação dos insetos.

4.2.2. Óleos essenciais

4.2.2.1. Extração

Folhas da tangerineira ‘Piemonte’ [tangerina ‘Clementina’ (*Citrus clementina* hort. ex Tanaka) x ‘Murcott’ (hibrido de origem desconhecida, possivelmente resultado do cruzamento de tangerina e laranja doce, de acordo com Hodgson, 1967)], da limeira ácida Tahiti, clone ‘Persian lime 58’ [*C. latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] e das laranjeiras ‘Kona’ e ‘Pera CNPMF-D6’ [*C. sinensis*] foram coletadas em setembro de 2016, no campo experimental da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Umbaúba – SE (11°22’37’’ L, 37°40’20’’ O, 109 m acima do nível do mar). As plantas tinham nove anos de idade e foram enxertadas sobre o limoeiro ‘Cravo’ (*C. limonia*). O material foi levado ao laboratório para a extração e o óleo essencial foi extraído de folhas frescas por hidrodestilação, utilizando o aparelho do tipo clewenger modificado, pelo período de 3 horas (Andrade et al., 2016).

4.2.2.2. Composição química

A análise dos constituintes químicos dos óleos essenciais foi realizada em GC-EM/DIC (Cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas/detector de ionização de chamas) da marca Shimadzu modelo QP2010 ultra, contendo uma coluna capilar de sílica fundida Agilent J&W Scientific DB-5MS (30m x 0,25mm d.i. x 0,25µm espessura da fase) composta por coluna capilar (5%-fenil-95%-dimetil polissiloxano), gás de arraste Hélio (99.999%), com fluxo constante de 1,0 mL.min⁻¹; e a temperatura foi programada para manter o forno a 60°C por 4 min, seguido de aumento de 3°C.min⁻¹ até atingir a temperatura de 220°C. O volume de injeção foi de 1,5µL da amostra solubilizada em diclorometano (CH₂Cl₂). As temperaturas do injetor e detector foram de 250°C e 280°C, respectivamente. A obtenção dos espectros de massas foi feita no modo ionização por elétrons a 70 eV com um intervalo de 0,5s e fragmentos de 40 a 550Da.

A quantificação de cada componente foi estimada pela área do pico (%) DIC. Os componentes foram organizados em ordem de ebulição da CG. Os índices de retenção foram obtidos injetando-se uma mistura de hidrocarbonetos lineares (C9-C30). A identificação dos compostos ocorreu com base nos índices de retenção (Van Den Doolan e Kratz, 1963) e na comparação dos espectros de massas, armazenados no banco de dados de espectros de massas (NIST107 e NIST21; WILEY), juntamente com espectros de massas da literatura (Adams, 2007).

4.2.3. Toxicidade dos óleos essenciais e enantiômeros do limoneno a *Mononychellus tanajoa*

Concentrações crescentes dos óleos essenciais foram pulverizadas em arenas contendo 20 fêmeas de *M. tanajoa*, no início de seu período reprodutivo (8 dias), provenientes da criação estoque. As concentrações foram selecionadas em bioensaios-piloto, situando-se entre a maior concentração que não causa mortalidade (limite inferior) e a menor concentração que ocasiona 100% de mortalidade (limite superior), utilizando acetona como solvente e controle. A arena (disco de 2 cm de diâmetro) constituiu a unidade experimental e foi confeccionada com ágar bacteriológico puro a 5%, contendo 0,3% de metil parabeno (Nipagim®) sobre folhas de mandioca, em placa de Petri de 10 cm de diâmetro, adaptada de Teodoro et al., 2017. Para os óleos das laranjeiras ‘Pera e kona’ e tangerineira ‘Piemonte’ foram utilizadas cinco concentrações nos bioensaios (1,74; 6,08; 10,43; 14,77; 17,38 mg/mL), (1,72; 6,01; 10,31; 14,60; 17,18 mg/mL) e (1,62; 5,68; 9,74; 13,80; 16,24 mg/mL), respectivamente, enquanto do óleo da limeira ‘Persian lime 58’ foram usadas seis concentrações (1,67; 4,16; 5,83; 8,33; 9,97; 14,16 mg/mL). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado e para cada concentração e controle foram utilizadas seis repetições (arenas), totalizando 120 fêmeas de *M. tanajoa*. As soluções dos óleos essenciais e do controle (acetona) foram pulverizadas através de torre de Potter, com volume de 9,3 mL, pressão de 0,34 bar (34 Kpa) e deposição de 1,7 mg/cm², de acordo com a Organização Internacional para Controle Biológico (Hassan et al., 1994). Após a aplicação, as placas de Petri com as arenas foram circundadas com algodão umedecido com água destilada, cobertas por plástico filme e mantidas em BOD (temperatura 27 ± 2 °C, umidade relativa de 70 ± 10 %, e fotoperíodo de 12h). A mortalidade foi avaliada após 24 horas de exposição e os ácaros foram considerados mortos quando ao toque não se moviam a uma distância pelo menos igual ao comprimento de seu corpo (Stark et al., 1997).

Baseado nos resultados de toxicidade dos óleos, concentrações letais dos enantiômeros S(-)-limoneno e R(+)-limoneno (Sigma-Aldrich, teor de 99% de pureza), componente majoritário do óleo de ‘Persian lime 58’, também foram estimadas, conforme descrição acima. Para os bioensaios foram utilizadas cinco concentrações de R(+)-limoneno (1,75; 6,12; 8,74; 13,11; 17,48 mg/mL) e seis de S(-)-limoneno (1,67; 4,18; 5,86; 8,37; 12,55; 16,74 mg/mL).

4.2.4. Efeitos subletais do óleo de ‘Persian lime 58’

4.2.4.1. Sobrevivência de *Mononychellus tanajoa*

A sobrevivência de *M. tanajoa* foi avaliada com fêmeas tratadas com solução controle e concentrações subletais do óleo de ‘Persian lime 58’ (CL₂₅ e CL₅₀), óleo escolhido com base nos resultados de toxicidade. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 20 fêmeas por arena e 10 repetições (arenas), totalizando 200 ácaros para cada tratamento. As arenas foram trocadas a cada três dias, período útil da folha de mandioca. Avaliações de mortalidade de *M. tanajoa* foram realizadas continuamente a cada três horas no primeiro dia, seis horas no segundo dia e 12 horas até a morte total dos ácaros.

4.2.4.2. Mortalidade de *Ceraeochrysa caligata*

A mortalidade foi avaliada com a CL₅₀ e CL₈₀ do óleo de ‘Persian lime 58’, estimadas para *M. tanajoa*, pulverizadas em larvas de primeiro instar de *C. caligata*. A metodologia de aplicação e o tratamento controle utilizado seguem descrição no experimento de toxicidade. As larvas estavam com 12 horas de vida e foram confinadas isoladamente em arenas plásticas. As arenas foram confeccionadas com tampas plásticas cilíndricas de 2 cm de diâmetro e 1 cm de altura (9,9 cm³), coladas em placa de Petri de 15 cm de diâmetro, com papel filtro no seu interior e água ao redor para evitar a fuga dos insetos. O agrupamento de 10 arenas foi considerado uma repetição e foram utilizadas 3 repetições para cada tratamento. Após a aplicação e secagem da solução, ovos de *Anagastra kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) foram adicionados em cada arena como alimento. A mortalidade foi avaliada após 24 horas de exposição de *C. caligata* aos tratamentos.

4.2.4.3. Consumo de *Mononychellus tanajoa* por *Ceraeochrysa caligata*

Larvas de primeiro instar de *C. caligata* foram tratadas com a CL₅₀ do óleo de ‘Persian lime 58’ estimada para *M. tanajoa* e solução controle. Posteriormente à aplicação e secagem da solução, as larvas foram transferidas para outras arenas para evitar o contato das presas com o óleo essencial. A confecção dessas arenas está descrita no experimento de toxicidade, mas teve área aumentada para 3 cm de diâmetro e duas densidades de ácaros no seu interior, 25 e 50 adultos de *M. tanajoa*. O delineamento foi inteiramente casualizado com 10 repetições (arenas) para cada tratamento. O consumo de ácaros por larvas de *C. caligata* foi avaliado continuamente às 2, 4, 6, 8, 24 horas após a aplicação, durante três dias. Os ácaros consumidos foram contabilizados e retirados das arenas a cada tempo, para reposição de vivos até as densidades de 25 e 50 indivíduos.

4.2.5. Análises estatísticas

Resultados de mortalidade foram submetidos à análise de Probit para obter as concentrações letais (CL_s), por intermédio do procedimento PROC PROBIT (SAS, 2013). As CL₅₀ dos óleos das laranjeiras, tangerineira e enantiômeros foram divididas pela CL₅₀ do óleo de ‘Persian lime 58’ para obter a razão de toxicidade. A comparação da atividade acaricida foi realizada com base na razão de toxicidade e 95% de seus limites de confiança foram consideradas significativamente diferentes ($P < 0,05$) se não incluíssem o valor 1 (Robertson et al., 2007). A sobrevivência de *M. tanajoa* foi estimada pelo modelo de Kaplan-Meier e as curvas foram comparadas pelo teste de Log-rank, no Sigma Plot v. 11.0 (Systat Software, 2008). Taxas de mortalidade de *C. caligata* expostas ao controle CL₅₀ e CL₈₀ do óleo de lima ácida foram submetidas à análise de variância pelo PROC ANOVA (SAS, 2013). Dados de consumo

de *M. tanajoa* por *C. caligata* foram submetidos a análises de variância para medidas repetidas por intermédio do PROC ANOVA. Dentro de cada tempo (h), o número de presas consumidas pelo predador sob efeito de óleo essencial em cada dia foram comparadas pelo teste de t-Student PROC TTEST (SAS, 2013). O consumo diário do predador em função do tempo (h), para cada densidade e efeito de óleo, foi submetido à análise de regressão pelo PROC REG do programa SAS (SAS, 2013).

4.3. Resultados

4.3.1. Composição dos óleos essenciais

Análises cromatográficas detectaram a presença de 46 compostos nos óleos essenciais das quatro cultivares copas de citros (Tabela 1). Os principais componentes dos óleos das laranjeiras foram os monoterpenos: sabineno (39,49%), linalol (12,59%) e δ -3-careno (10,73%) para ‘Kona’; sabineno (44,72%), linalol (10,78%) e δ -3-careno (10,78%) para ‘Pera CNPMF-D6’. Linalol (38,14%), sabineno (30,76%) e (*E*)- β -ocimeno (8,07%) foram os compostos mais abundantes na tangerineira ‘Piemonte’ e limoneno (52,63%), geranial (9,51%) e neral (7,48%) na limeira ácida ‘Persian lime 58’. Alguns monoterpenos, como o mirceno, 1,8-cineol e terpinen-4-ol, também foram detectados nestes óleos, porém em quantidade inferior a 5% (Tabela 1).

4.3.2. Toxicidade dos óleos essenciais e enantiômeros do limoneno a *Mononychellus tanajoa*

Os quatro óleos essenciais de citros e os enantiômeros S(-)-limoneno e R-(+)-limoneno foram tóxicos a *M. tanajoa* por contato, sendo que a sequência da menor CL₅₀ para a maior CL₅₀ foi ‘Persian lime 58’ (5,79 mg/mL) < ‘Piemonte’ (7,74 mg/mL) < ‘kona’ (8,55 mg/mL) < ‘Pera’ (9,54 mg/mL) < S(-)-limoneno (9,71 mg/mL) < R-(+)-limoneno (12,04 mg/mL). Embora a CL₅₀ do óleo de ‘Persian lime 58’ tenha sido menor que a CL₅₀ dos outros óleos e S(-)-limoneno, não houve diferença quanto a toxicidade desses produtos. No entanto, a toxicidade do óleo de ‘Persian lime 58’ foi cerca de 2 vezes maior que a de R-(+)-limoneno (Tabela 2).

4.3.3. Efeitos subletais do óleo essencial de ‘Persian lime 58’

Embora não tenha havido diferença na toxicidade dos óleos a *M. tanajoa*, o óleo de ‘Persian lime 58’ teve menor CL₅₀ e, portanto, foi escolhido para avaliação de efeito subletal à praga e seletividade a seu predador.

4.3.3.1. Sobrevivência de *Mononychellus tanajoa*

As curvas de sobrevivência de *M. tanajoa* exposto a CL₂₅ e CL₅₀ do óleo diferiram significativamente em comparação ao controle (teste de Log-rank: $\chi^2 = 173,68$; d.f. = 2; P < 0,001) (Figura 1). Concentrações subletais do óleo essencial de ‘Persian lime 58’ reduziram a sobrevivência média de *M. tanajoa* de $17,06 \pm 0,79$ dias para $13,00 \pm 0,80$ dias (CL₂₅) e $12,70 \pm 0,53$ dias (CL₅₀).

4.3.3.2. Mortalidade de *Ceraeochrysa caligata*

As mortalidades de larvas de *C. caligata* expostas a CL₅₀ ($10,00 \pm 5,77\%$, n = 30) e a CL₈₀ ($20,37 \pm 5,45\%$, n = 30) do óleo de ‘Persian lime 58’, estimadas para *M. tanajoa*, não diferiram em comparação com o controle ($6,67 \pm 3,33\%$, n = 30) ($F_{2,6} = 2,06$; g.l. = 2; P = 0,21).

4.3.3.3. Consumo de *Mononychellus tanajoa* por *Ceraeochrysa caligata*

O consumo de *M. tanajoa* por *C. caligata* não foi afetado pela CL₅₀ do óleo essencial de ‘Persian lime 58’ ao longo de três dias ($F = 2,06$; g.l. = 1; $P = 0,89$) (Tabela 3). Nesse tempo, a capacidade predatória foi influenciada pela densidade de presas e os dias: com maior consumo quando oferecida maior densidade de presas e tempo decorrido (dias). Porém, o óleo essencial aumentou a capacidade predatória de *C. caligata* submetido a 25 presas no primeiro dia de alimentação (Figura 2). Adicionalmente, houve efeito do tempo (2, 4, 6, 8, 24 h) no número de presas consumidas por *C. caligata* ao longo do dia, com aumento da predação até o intervalo de 4-6 horas, tanto para os tratamentos com óleo quanto para o controle, nas duas densidades de presas, à exceção do primeiro dia (controle), na densidade de 25 presas, em que a predação foi inversamente proporcional ao tempo (Tabela 4).

4.4. Discussão

Fatores ambientais, parte da planta, época de colheita e métodos de extração e analíticos influenciam a composição química de óleos cítricos e óleos essenciais em geral (Andrade et al., 2016; Ellouze et al., 2012; Moghaddam e Mehdizadeh, 2017; Wu et al., 2013). Porém, estudo recente identificou, com a disponibilidade da sequência do genoma de *C. sinensis*, uma das maiores famílias de terpeno sintases (TPS) registradas dentre as angiospermas caracterizadas até agora, incluindo todos os tipos de TPS descritos na literatura como os TPS-a, TPS-b, TPS-c, TPS-d, TPS-e/fi TPS-g (Alquézar et al., 2017). A natureza híbrida de espécies de *Citrus* implica que a diversificação de famílias de genes ocorre como resultado da combinação de alelos de pais ancestrais, demonstrado por alguns genes nucleares (Garcia-Lor et al., 2013). Dessa forma, a planta pode ter caracteres de terpeno sintases herdados de ambos os pais e por isso grande variação na sua composição (Alquézar et al., 2017).

Sabineno foi o principal componente encontrado nos óleos essenciais de folhas de laranjeiras *C. sinensis* em vários estudos (Blanco Tirado et al., 1995; Družić et al., 2016; Eldahshan and Halim, 2016; Kasali et al., 2011). A composição de plantas híbridas de *C. clementina*, como a cultivar ‘Piemonte’, depende de seus genitores e embriogênese (homozigoto ou heterozigoto) (Germanà et al., 2013). Sabineno, o maior monoterpene encontrado em híbridos de *C. clementina* cruzados com laranjeiras, estava presente em traços em híbridos de *C. clementina* com outras tangerineiras. Linalol foi encontrado apenas em traços em plantas heterozigotas. Contudo, em plantas homozigotas a quantidade aumentou e foi muito maior em híbridos de *C. clementina* com tangerineiras (Germanà et al., 2013). Neste estudo, o óleo essencial de ‘Persian lime 58’ teve composição majoritária semelhante aos óleos de 11 cultivares de *C. aurantifolia* e *C. latifolia*, incluindo ‘Tahiti’ e ‘Persa’, pertencentes ao quimiotipo limoneno/geranial/neral (Lota et al., 2002).

A toxicidade dos óleos das laranjeiras e tangerineira a *M. tanajoa* é atribuída à elevada quantidade de sabineno e linalol em sua composição. Sabineno tem atividade inseticida por contato a *Culex quinquefasciatus* Say (Diptera: Culicidae) e *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) (Pavela et al., 2018; Wang et al., 2011). Linalol foi altamente tóxico por fumigação a *Tyrophagus putrescentiae* Schrank (Acari: Acaridae) (Sánchez-Ramos e Castañera, 2000) e contato a *Ceratitis capitata* Wiedmann, *Bactrocera dorsalis* Hendel e *B. cucurbitae* Coquillett (Diptera: Tephritidae) (Chang et al., 2009). Além destes, outros compostos encontrados, como δ -3-careno, mirceno, limoneno, (*E*)- β -ocimeno e terpinen-4-ol, são bioativos a pragas e os efeitos sinérgicos e/ou antagônicos desses componentes certamente influenciam a atividade dos óleos das laranjeiras a *M. tanajoa*. Terpinen-4-ol inibiu a atividade de ATPases de *Musca domestica* Linnaeus (Diptera: Muscidae) (Abdelgaleil et al., 2016). Mirceno, linalol e limoneno foram tóxicos por fumigação a *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae) (Kim et al., 2015) e por contato a *Spodoptera littoralis* Boisduval

(Lepidoptera: Noctuidae) (Pavela, 2014). Limoneno e δ -3-Careno tiveram repelência residual a *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) (Camara et al., 2015). Geranial e neral foram tóxicos por contato e fumigação a *Drosophila suzukii* Matsumura (Diptera: Drosophilidae) (Jang et al., 2017).

O efeito tóxico do óleo de ‘Persian lime 58’ a *M. tanajoa* é atribuído à elevada quantidade de limoneno. Limoneno é reconhecido por sua atividade inseticida e acaricida, principalmente pela inibição da acetilcolinesterase (Abdelgaleil et al., 2009; Kim et al., 2013; Zarrad et al., 2015). Porém, o óleo de ‘Persian lime 58’ foi mais tóxico a *M. tanajoa* do que R-(+)-limoneno. Assim, outros compostos ativos a pragas dentre os majoritários e minoritários, como geranial, neral e 1,8-cineol (Pavela, 2014; Rossi e Palacios, 2015), em sinergismo com o S e/ou R-limoneno provavelmente também foram responsáveis pela toxicidade desse óleo a *M. tanajoa*. Adicionalmente, o efeito sinérgico entre os principais ou todos os componentes de óleos essenciais na atividade inseticida/acaricida também foram encontrados com frequência (Camara et al., 2015; Pavela, 2014; Tak e Isman, 2017).

Os enantiômeros S(-)-limoneno e R-(+)-limoneno possuem estereoespecificidade quanto à atividade acaricida a *M. tanajoa*. Resultados semelhantes foram obtidos para *M. domestica* e *Dendroctonus ponderosa* Hopkins (Coleoptera: Curculionidae) (Chiu et al., 2017; Palacios et al., 2009). Para *Aedes albopictus* Skuse (Diptera: Culicidae) e *S. zeamais* esses enantiômeros não tiveram diferença significativa na toxicidade por contato (Fouad and da Camara, 2017; Giatropoulos et al., 2012). No entanto, em testes de repelência S(-)-limoneno foi mais repelente que R-(+)-limoneno a essas pragas. Contudo, R-(+)-limoneno foi geralmente mais tóxico e repelente que S(-)-limoneno a *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae), mas em diferentes temperaturas a atividade de cada enantiômero foi diferente (Malacrino et al., 2016). Essa variabilidade na atividade dos enantiômeros deve-se às condições específicas sob as quais os ensaios foram realizados, ou de cada espécie testada, que pode carregar características genéticas de tolerância a uma destas moléculas (Malacrino et al., 2016).

Em concentrações subletais, o óleo de ‘Persian lime 58’ reduziu a sobrevivência de *M. tanajoa* em cerca de 24% (CL₂₅) e 26% (CL₅₀). A redução do período de vida reduz a oviposição (Yaninek et al., 1989) e a alimentação. A sobrevivência de *M. tanajoa* a 27 °C foi cerca de 24 dias, mas a cultivar de mandioca e a posição da folha que alimenta o ácaro, na planta, pode alterar esse tempo (Byrne et al., 1982; Yaninek et al., 1989).

O óleo essencial de ‘Persian lime 58’ foi seletivo para o predador. Similarmente, larvas de crisopídeos foram relativamente tolerantes a óleos essenciais de *Amyris balsamifera* Linnaeus (Rutaceae), *Origanum vulgare* Linnaeus (Lamiaceae) e *Thymus vulgaris* Linnaeus (Lamiaceae), assim como ao óleo de nim *Azadirachta indica* (Meliaceae) e alguns agrotóxicos (Castilhos et al., 2018; Ono et al., 2017; Rugno et al., 2016, 2015; Schuster e Stansly, 2000). No entanto, limoneno reduziu a fertilidade e fecundidade desse predador, enquanto alguns agrotóxicos reduziram a fertilidade, fecundidade e longevidade (Castilhos et al., 2018; Ono et al., 2017; Rugno et al., 2016). A predação de *C. caligata* foi aumentada pela exposição da CL₅₀ óleo de ‘Persian lime 58’ estimada para o ácaro, no primeiro dia de alimentação e densidade de 25 presas. O óleo essencial provavelmente provocou efeito hormético positivo a esse predador e a maior predação ocorreu para suprir a maior demanda de energia para os processos bioquímicos envolvidos na detoxicação desse produto. A biotransformação e eliminação de compostos tóxicos demanda elevado investimento energético para ativação de monooxigenases, glutatona transferases e carboxilesterases, principais enzimas responsáveis por esses processos (Rand et al., 2015). O efeito do tempo (2, 4, 6, 8, 24 h) no consumo de *M. tanajoa* por *C. caligata* ocorre por que predadores variam o tempo de manipulação por presa ao longo do dia (Okuyama, 2009). O tempo é uma variável importante em estudos de resposta funcional e a relação do tempo disponível (nesse caso 2 h) com o tempo de manuseio por presa permite a estimativa do número de presas consumidas (Koveos e Broufas, 2000; Okuyama, 2009). Assim, o aumento da predação no dia ocorreu pela redução do tempo de manuseio por presa.

Resultados encontrados neste estudo revelam a quimiodiversidade de compostos encontrados nos óleos essenciais de diferentes cultivares copas de citros. A variação na composição das diferentes cultivares copa pode ser explicada pela expressão e diversidade de diferentes TPS registradas na literatura, além dos resultados de possíveis combinações de alelos ancestrais. Os óleos das laranjeiras ‘Pera e Kona’, tangerineira ‘Piemonte’ e limeira ácida ‘Persian lime 58’ e o composto S-(–)-limoneno tiveram maior potencial para o manejo de *M. tanajoa* do que R-(+)-limoneno. Além disso, o óleo de ‘Persian lime 58’ interferiu no período de vida de *M. tanajoa* em concentrações subletais e foi seletivo a seu predador *C. caligata*, baseado na mortalidade e consumo desse predador.

4.5. Referências Bibliográficas

- Abdelgaleil, S.A.M., Mohamed, M.I.E., Badawy, M.E.I., El-arami, S.A.A., 2009. Fumigant and contact toxicities of monoterpenes to *Sitophilus oryzae* (L.) and *Tribolium castaneum* (Herbst) and their inhibitory effects on acetylcholinesterase activity. *J. Chem. Ecol.* 35, 518–525. <https://doi.org/10.1007/s10886-009-9635-3>
- Abdelgaleil, S.A.M., Mohamed, M.I.E., Shawir, M.S., Abou-Taleb, H.K., 2016. Chemical composition, insecticidal and biochemical effects of essential oils of different plant species from Northern Egypt on the rice weevil, *Sitophilus oryzae* L. *J. Pest Sci.* (2004). 89, 219–229. <https://doi.org/10.1007/s10340-015-0665-z>
- Adams, R.P., 2007. Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry, 4th ed. Allured Pub. Corp, Illinois.
- Agboton, B.V., Hanna, R., Onzo, A., Vidal, S., von Tiedemann, A., 2013. Interactions between the predatory mite *Typhlodromalus aripo* and the entomopathogenic fungus *Neozygites tanajoae* and consequences for the suppression of their shared prey/host *Mononychellus tanajoa*. *Exp. Appl. Acarol.* 60, 205–217. <https://doi.org/10.1007/s10493-012-9630-1>
- Alquézar, B., Rodríguez, A., de la Peña, M., Peña, L., 2017. Genomic analysis of terpene synthase family and functional characterization of seven sesquiterpene synthases from *Citrus sinensis*. *Front. Plant Sci.* 8, 1481. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01481>
- Andrade, M., Ribeiro, L., Borgoni, P., Silva, M., Forim, M., Fernandes, J., Vieira, P., Vendramin, J., Machado, M., 2016. Essential oil variation from twenty two genotypes of Citrus in Brazil - chemometric approach and repellency against *Diaphorina citri* Kuwayama. *Molecules* 21, 814. <https://doi.org/10.3390/molecules21060814>
- Bellotti, A.C., Smith, L., Lapointe, S.L., 1999. Recent advances in cassava pest management. *Annu. Rev. Entomol.* 44, 343–370. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.44.1.343>
- Benelli, G., Pavela, R., Giordani, C., Casettari, L., Curzi, G., Cappellacci, L., Petrelli, R., Maggi, F., 2018. Acute and sub-lethal toxicity of eight essential oils of commercial interest against the filariasis mosquito *Culex quinquefasciatus* and the housefly *Musca domestica*. *Ind. Crops Prod.* 112, 668–680. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2017.12.062>
- Blanco Tirado, C., Stashenko, E.E., Combariza, M.Y., Martinez, J.R., 1995. Comparative study of colombian citrus oils by high-resolution gas chromatography and gas chromatography-mass spectrometry. *J. Chromatogr. A* 697, 501–513. [https://doi.org/10.1016/0021-9673\(94\)00955-9](https://doi.org/10.1016/0021-9673(94)00955-9)
- Boopathi, T., Sankari Meena, K., Ravi, M., Thirunavukarasu, K., 2017. Impact of insecticides

- on spiralling whitefly, *Aleurodicus dispersus* (Hemiptera: Aleyrodidae) and its natural enemy complex in cassava under open field conditions. *Crop Prot.* 94, 137–143. <https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2016.12.021>
- Byrne, D.H., Guerrero, J.M., Bellotti, A.C., Gracen, V.E., 1982. Yield and plant growth responses of *Mononychellus* mite resistant and susceptible cassava cultivars under protected vs. infested conditions. *Crop Sci.* 22, 486–490. <https://doi.org/10.2135/cropsci1982.0011183X002200030011x>
- Camara, C.A.G., Akhtar, Y., Isman, M.B., Seffrin, R.C., Born, F.S., 2015. Repellent activity of essential oils from two species of *Citrus* against *Tetranychus urticae* in the laboratory and greenhouse. *Crop Prot.* 74, 110–115. <https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2015.04.014>
- Carvalho, H.W.L. de, Martins, C.R., Teodoro, A.V., Soares Filho, W. dos S., Passos, O.S., 2016. Agronomical performance of “Piemonte” mandarin grafted on several rootstocks in the Brazilian Coastal Tablelands. *Pesqui. Agropecuária Bras.* 51, 1830–1838. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016001100005>
- Castilhos, R. V, Grützmacher, A.D., Coats, J.R., 2018. Acute toxicity and sublethal effects of terpenoids and essential oils on the predator *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae). *Neotrop. Entomol.* 47, 311–317. <https://doi.org/10.1007/s13744-017-0547-6>
- Chang, C.L., Cho, I.K., Li, Q.X., 2009. Insecticidal activity of basil oil, trans-anethole, estragole, and linalool to adult fruit flies of *Ceratitis capitata*, *Bactrocera dorsalis*, and *Bactrocera cucurbitae*. *J. Econ. Entomol.* 102, 203–9.
- Chen, Q., Lu, Z., Huang, G., Li, K., Ye, J., Zhanv, Z., 2010. General survey and safety assessment of cassava pests. *Chinese J. Trop. Crop.* 31, 819–827.
- Chiu, C.C., Keeling, C.I., Bohlmann, J., 2017. Toxicity of pine monoterpenes to mountain pine beetle. *Sci. Rep.* 7, 8858. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08983-y>
- Choi, W.I., Lee, S.-G., Park, H.-M., Ahn, Y.-J., 2004. Toxicity of plant essential oils to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). *J. Econ. Entomol.* 97, 553–558. <https://doi.org/10.1093/jee/97.2.553>
- Delalibera, I., Demétrio, C.G.B., Manly, B.F.J., Hajek, A.E., 2006. Effect of relative humidity and origin of isolates of *Neozygites tanajoae* (Zygomycetes: Entomophthorales) on production of conidia from cassava green mite, *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae), cadavers. *Biol. Control* 39, 489–496. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCONTROL.2006.08.003>
- Dixon, A.G., Ngeve, J.M., Nukenine, E.N., 2002. Response of cassava genotypes to four biotic constraints in three agro-ecologies of Nigeria. *African Crop Sci. J.* 10. <https://doi.org/10.4314/acsj.v10i1.27553>
- Družić, J., Jerković, I., Marijanović, Z., Roje, M., 2016. Chemical biodiversity of the leaf and flower essential oils of *Citrus aurantium* L. from Dubrovnik area (Croatia) in comparison with *Citrus sinensis* L. Osbeck cv. Washington navel, *Citrus sinensis* L. Osbeck cv. Tarocco. *J. Essent. Oil Res.* 28, 283–291. <https://doi.org/10.1080/10412905.2016.1159258>
- Dutra, K. de A., de Oliveira, J.V., Navarro, D.M. do A.F., Barbosa, D.R. e S., Santos, J.P.O.,

2016. Control of *Callosobruchus maculatus* (FABR.) (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) in *Vigna unguiculata* (L.) WALP. with essential oils from four *Citrus* spp. plants. J. Stored Prod. Res. 68, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2016.04.001>
- Eldahshan, O.A., Halim, A.F., 2016. Comparison of the composition and antimicrobial activities of the essential oils of green branches and leaves of egyptian navel orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck var. malesy). Chem. Biodivers. 13, 681–685. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201500139>
- Ellouze, I., Abderrabba, M., Sabaou, N., Mathieu, F., Lebrihi, A., Bouajila, J., 2012. Season's variation impact on *Citrus aurantium* leaves essential oil: chemical composition and biological activities. J. Food Sci. 77, T173–T180. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02846.x>
- Fouad, H.A., da Camara, C.A.G., 2017. Chemical composition and bioactivity of peel oils from *Citrus aurantiifolia* and *Citrus reticulata* and enantiomers of their major constituent against *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). J. Stored Prod. Res. 73, 30–36. <https://doi.org/10.1016/J.JSPR.2017.06.001>
- Garcia-Lor, A., Curk, F., Snoussi-Trifa, H., Morillon, R., Ancillo, G., Luro, F., Navarro, L., Ollitrault, P., 2013. A nuclear phylogenetic analysis: SNPs, indels and SSRs deliver new insights into the relationships in the “true citrus fruit trees” group (Citrinae, Rutaceae) and the origin of cultivated species. Ann. Bot. 111, 1–19. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs227>
- Geraci, A., Di Stefano, V., Di Martino, E., Schillaci, D., Schicchi, R., 2017. Essential oil components of orange peels and antimicrobial activity. Nat. Prod. Res. 31, 653–659. <https://doi.org/10.1080/14786419.2016.1219860>
- Germanà, M.A., Palazzolo, E., Chiancone, B., Saiano, F., 2013. Characterization of leaf essential oil composition of homozygous and heterozygous *Citrus clementina* Hort. Extan. and its Ancestors. J. Essent. Oil Bear. Plants 16, 92–101. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2013.764173>
- Giatropoulos, A., Papachristos, D.P., Kimbaris, A., Koliopoulos, G., Polissiou, M.G., Emmanouel, N., Michaelakis, A., 2012. Evaluation of bioefficacy of three citrus essential oils against the dengue vector *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in correlation to their components enantiomeric distribution. Parasitol. Res. 111, 2253–2263. <https://doi.org/10.1007/s00436-012-3074-8>
- Gonçalves, M.E. de C., Oliveira, J.V. de, Barros, R., Lima, M.P.L. de, 2001. Extratos aquosos de plantas e o comportamento do ácaro verde da mandioca. Sci. Agric. 58, 475–479. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162001000300006>
- Hassan, S.A., Bigler, F., Bogenschütz, H., Boller, E., Brun, J., Calis, J.N.M., Coremans-Pelseneer, J., Duso, C., Grove, A., Heimbach, U., Helyer, N., Hokkanen, H., Lewis, G.B., Mansour, F., Moreth, L., Polgar, L., Samsøe-Petersen, L., Sauphanor, B., Stäubli, A., Sterk, G., Vainio, A., Veire, M., Viggiani, G., Vogt, H., 1994. Results of the sixth joint pesticide testing programme of the IOBC/WPRS-working group pesticides and beneficial organisms. Entomophaga 39, 107–119. <https://doi.org/10.1007/BF02373500>
- Hodgson, R.W., 1967. Horticultural varieties of citrus, in: Reuther, W., Webber, H.J. Batchelor, L.D. (Eds.), The Citrus Industry. University of California, Berkeley, pp. 431–589.
- Jang, M., Kim, J., Yoon, K.A., Lee, S.H., Park, C.G., 2017. Biological activity of Myrtaceae

- plant essential oils and their major components against *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). *Pest Manag. Sci.* 73, 404–409. <https://doi.org/10.1002/ps.4430>
- Jesser, E.N., Werdin-González, J.O., Murray, A.P., Ferrero, A.A., 2017. Efficacy of essential oils to control the indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Asia. Pac. Entomol.* 20, 1122–1129. <https://doi.org/10.1016/J.ASPEN.2017.08.004>
- Kasali, A.A., Lawal, O.A., Eshilokun, A.O., Olaniyan, A.A., Opoku, A.R., Setzer, W.N., 2011. Citrus essential oil of Nigeria. Part V: Volatile constituents of sweet orange leaf oil (*Citrus sinensis*). *Nat. Prod. Commun.* 6, 875–8.
- Khani, A., Asghari, J., 2012. Insecticide activity of essential oils of *Mentha longifolia*, *Pulicaria gnaphalodes* and *Achillea wilhelmsii* against two stored product pests, the flour beetle, *Tribolium castaneum*, and the cowpea weevil. *J. Insect Sci.* 12, 73. <https://doi.org/10.1673/031.012.7301>
- Kim, K.-H., Yi, C.-G., Ahn, Y.-J., Kim, S. Il, Lee, S.-G., Kim, J.-R., 2015. Fumigant toxicity of basil oil compounds and related compounds to *Thrips palmi* and *Orius strigicollis*. *Pest Manag. Sci.* 71, 1292–1296. <https://doi.org/10.1002/ps.3925>
- Kim, S.-W., Kang, J., Park, I.-K., 2013. Fumigant toxicity of Apiaceae essential oils and their constituents against *Sitophilus oryzae* and their acetylcholinesterase inhibitory activity. *J. Asia. Pac. Entomol.* 16, 443–448. <https://doi.org/10.1016/J.ASPEN.2013.07.002>
- Koveos, D.S., Broufas, G.D., 2000. Functional response of *Euseius finlandicus* and *Amblyseius andersoni* to *Panonychus ulmi* on apple and peach leaves in the laboratory. *Exp. Appl. Acarol.* 24, 247–256. <https://doi.org/10.1023/A:1006431710313>
- Lota, M.-L., Serra, D. de R., Tomi, F., Jacquemond, C., Joseph Casanova, 2002. Volatile components of peel and leaf oils of lemon and lime species. <https://doi.org/10.1021/JF010924L>
- Mahungu, N.M., Dixon, A.G.O., Kumbira, J.M., 1994. Breeding cassava for multiple pest resistance in Africa. *African Crop Sci. J.* 2, 539–552.
- Malacrinò, A., Campolo, O., Laudani, F., Palmeri, V., 2016. Fumigant and repellent activity of limonene enantiomers against *Tribolium confusum* du Val. *Neotrop. Entomol.* 45, 597–603. <https://doi.org/10.1007/s13744-016-0402-1>
- Martins, C.R., Carvalho, H.W.L., Teodoro, A. V., Soares Filho, W.S., Passos, O.S., 2016. Agronomical performance of citrus scion cultivars grafted on Rangpur lime in north-eastern Brazil. *Aust. J. Crop Sci.* 10, 16–23.
- Moghaddam, M., Mehdizadeh, L., 2017. Chemistry of essential oils and factors influencing their constituents, in: *Soft Chemistry and Food Fermentation*. Elsevier, pp. 379–419. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811412-4.00013-8>
- Mutisya, D.L., Khamala, C.P.M., Banhawya, E.M. El, Kariuki, C.W., Ragwa, S., 2013. Cassava variety tolerance to spider mite attack in relation to leaf cyanide level. *J. Biol. Agric. Healthc.* 3, 24–30.
- Okuyama, T., 2009. Local interactions between predators and prey call into question commonly used functional responses. *Ecol. Modell.* 220, 1182–1188.

<https://doi.org/10.1016/J.ECOLMODEL.2009.02.010>

- Ono, É.K., Zanardi, O.Z., Aguiar Santos, K.F., Yamamoto, P.T., 2017. Susceptibility of *Ceraeochrysa cubana* larvae and adults to six insect growth-regulator insecticides. *Chemosphere* 168, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.061>
- Onzo, A., Bello, I.A., Hanna, R., 2013. Effects of the entomopathogenic fungus *Neozygites tanajoae* and the predatory mite *Typhlodromalus aripo* on cassava green mite densities: greenhouse experiments. *BioControl* 58, 397–405. <https://doi.org/10.1007/s10526-013-9508-0>
- Onzo, A., Hanna, R., Sabelis, M.W., 2003. Interactions in an acarine predator guild: impact on *Typhlodromalus aripo* abundance and biological control of cassava green mite in Benin, West Africa. *Exp. Appl. Acarol.* 31, 225–41.
- Palacios, S., Bertoni, A., Rossi, Y., Santander, R., Urzúa, A., 2009. Efficacy of essential oils from edible plants as insecticides against the house fly, *Musca Domestica* L. *Molecules* 14, 1938–1947. <https://doi.org/10.3390/molecules14051938>
- Parsa, S., Medina, C., Rodríguez, V., 2015. Sources of pest resistance in cassava. *Crop Prot.* 68, 79–84. <https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2014.11.007>
- Passos, O.S., Cunha Sobrinho, A.P., Soares Filho, W.S., 2013. Cultivares copa, in: Cunha Sobrinho, A.P., Magalhães, A.F.J., Souza, A.S., Passos, O.S., Soares Filho, W.S. (Eds.), *Cultura Dos Citros*. EMBRAPA, Brasília, DF, pp. 293–319.
- Pavela, R., 2014. Acute, synergistic and antagonistic effects of some aromatic compounds on the *Spodoptera littoralis* Boisid. (Lep., Noctuidae) larvae. *Ind. Crops Prod.* 60, 247–258. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2014.06.030>
- Pavela, R., Maggi, F., Cianfaglione, K., Bruno, M., Benelli, G., 2018. Larvicidal activity of essential oils of five apiaceae taxa and some of their main constituents against *Culex quinquefasciatus*. *Chem. Biodivers.* 15, e1700382. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201700382>
- Pinto-Zevallos, D.M., Pareja, M., Ambrogi, B.G., 2016. Current knowledge and future research perspectives on cassava (*Manihot esculenta* Crantz) chemical defenses: An agroecological view. *Phytochemistry* 130, 10–21. <https://doi.org/10.1016/J.PHYTOCHEM.2016.05.013>
- Plata-Rueda, A., Campos, J.M., da Silva Rolim, G., Martínez, L.C., Dos Santos, M.H., Fernandes, F.L., Serrão, J.E., Zanuncio, J.C., 2018. Terpenoid constituents of cinnamon and clove essential oils cause toxic effects and behavior repellency response on granary weevil, *Sitophilus granarius*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 156, 263–270. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2018.03.033>
- Rand, E.E. du, Smit, S., Beukes, M., Apostolides, Z., Pirk, C.W.W., Nicolson, S.W., 2015. Detoxification mechanisms of honey bees (*Apis mellifera*) resulting in tolerance of dietary nicotine. *Sci. Rep.* 5, 11779. <https://doi.org/10.1038/srep11779>
- Rêgo, A.S., Teodoro, A. V., Maciel, A.G.S., Sarmiento, R.A., 2013. Relative contribution of biotic and abiotic factors to the population density of the cassava green mite, *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae). *Exp. Appl. Acarol.* 60, 479–484. <https://doi.org/10.1007/s10493-013-9667-9>

- Ribeiro, R.C., Zanuncio, T.V., Ramalho, F. de S., da Silva, C.A.D., Serrão, J.E., Zanuncio, J.C., 2015. Feeding and oviposition of *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae) with sublethal concentrations of ten condiments essential oils. *Ind. Crops Prod.* 74, 139–143. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2015.03.057>
- Robertson, J.L., Russell, R.M., Preisler, H.K., Savin, N.E., 2007. *Bioassays with arthropods*, 2nd ed. CRC Press, New York.
- Rossi, Y.E., Palacios, S.M., 2015. Insecticidal toxicity of *Eucalyptus cinerea* essential oil and 1,8-cineole against *Musca domestica* and possible uses according to the metabolic response of flies. *Ind. Crops Prod.* 63, 133–137. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2014.10.019>
- Rugno, G.R., Zanardi, O.Z., Bajonero Cuervo, J., de Moraes, M.R., Yamamoto, P.T., 2016. Impact of insect growth regulators on the predator *Ceraeochrysa cincta* (Schneider) (Neuroptera: Chrysopidae). *Ecotoxicology* 25, 940–949. <https://doi.org/10.1007/s10646-016-1651-9>
- Rugno, G.R., Zanardi, O.Z., Yamamoto, P.T., 2015. Are the pupae and eggs of the lacewing *Ceraeochrysa cubana* (Neuroptera: Chrysopidae) tolerant to insecticides? *J. Econ. Entomol.* 108, 2630–2639. <https://doi.org/10.1093/jee/tov263>
- Ruiz-Pérez, N.J., González-Ávila, M., Sánchez-Navarrete, J., Toscano-Garibay, J.D., Moreno-Eutimio, M.A., Sandoval-Hernández, T., Arriaga-Alba, M., 2016. Antimycotic activity and genotoxic evaluation of *Citrus sinensis* and *Citrus latifolia* essential oils. *Sci. Rep.* 6, 25371. <https://doi.org/10.1038/srep25371>
- Sánchez-Ramos, I.I., Castañera, P., 2000. Acaricidal activity of natural monoterpenes on *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank), a mite of stored food. *J. Stored Prod. Res.* 37, 93–101. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(00\)00012-6](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(00)00012-6)
- SAS, S., Guide, U., 2013. SAS Institute Inc.
- Sattayawong, C., Uraichuen, S., Suasa-ard, W., 2016. Larval preference and performance of the green lacewing, *Plesiochrysa ramburi* (Schneider) (Neuroptera: Chrysopidae) on three species of cassava mealybugs (Hemiptera: Pseudococcidae). *Agric. Nat. Resour.* 50, 460–464. <https://doi.org/10.1016/J.ANRES.2016.07.002>
- Schuster, D.J., Stansly, P.A., 2000. Response of two lacewing species to biorational and broad-spectrum insecticides. *Phytoparasitica* 28, 297–304. <https://doi.org/10.1007/BF02981824>
- Shen, C.-Y., Jiang, J.-G., Zhu, W., Ou-Yang, Q., 2017. Anti-inflammatory effect of essential oil from *Citrus aurantium* L. var. amara Engl. *J. Agric. Food Chem.* 65, 8586–8594. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02586>
- Stark, J.D., Tanigoshi, L., Bounfour, M., Antonelli, A., 1997. Reproductive potential: Its influence on the susceptibility of a species to pesticides. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 37, 273–279. <https://doi.org/10.1006/EESA.1997.1552>
- Systat Software, 2008. Systat Software, Inc | Tools For Science [WWW Document]. URL <https://systatsoftware.com/> (accessed 4.25.18).
- Tak, J.-H., Isman, M.B., 2017. Acaricidal and repellent activity of plant essential oil-derived terpenes and the effect of binary mixtures against *Tetranychus urticae* Koch (Acari:

- Tetranychidae). *Ind. Crops Prod.* 108, 786–792. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2017.08.003>
- Teodoro, A.V., Sousa Silva, M. de J., Sena Filho, J.G., Oliveira, E., Galvão, A., Silva, S., 2017. Bioactivity of cottonseed oil against the coconut mite *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae) and side effects on *Typhlodromus ornatus* (Acari: Phytoseiidae). *Syst. Appl. Acarol.* 22, 1037–1047. <https://doi.org/10.11158/saa.22.7.11>
- Torres-Alvarez, C., Núñez González, A., Rodríguez, J., Castillo, S., Leos-Rivas, C., Báez-González, J.G., 2017. Chemical composition, antimicrobial, and antioxidant activities of orange essential oil and its concentrated oils. *CyTA - J. Food* 15, 129–135. <https://doi.org/10.1080/19476337.2016.1220021>
- Van Den Doolan, H., Kratz, P.D., 1963. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. *J. Chromatogr. A* 11, 463–471. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(01\)80947-X](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(01)80947-X)
- Wang, C.F., Yang, K., Zhang, H.M., Cao, J., Fang, R., Liu, Z.L., Du, S.S., Wang, Y.Y., Deng, Z.W., Zhou, L., 2011. Components and insecticidal activity against the maize weevils of *Zanthoxylum schinifolium* fruits and leaves. *Molecules* 16, 3077–3088. <https://doi.org/10.3390/molecules16043077>
- Wu, Z., Li, H., Yang, Y., Zhan, Y., Tu, D., 2013. Variation in the components and antioxidant activity of *Citrus medica* L. var. *sarcodactylis* essential oils at different stages of maturity. *Ind. Crops Prod.* 46, 311–316. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2013.02.015>
- Yaninek, J.S., Gutierrez, A.P., Herren, H.R., 1989. Dynamics of *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae) in Africa: Experimental evidence of temperature and host plant effects on population growth rates. *Environ. Entomol.* 18, 633–640. <https://doi.org/10.1093/ee/18.4.633>
- Yaninek, J.S., Herren, H.R., 1988. Introduction and spread of the cassava green mite, *Mononychellus tanajoa* (Bondar) (Acari: Tetranychidae), an exotic pest in Africa and the search for appropriate control methods: a review. *Bull. Entomol. Res.* 78, 1. <https://doi.org/10.1017/S0007485300016023>
- Zannou, I.D., Hanna, R., Agboton, B., de Moraes, G.J., Kreiter, S., Phiri, G., Jone, A., 2007. Native phytoseiid mites as indicators of non-target effects of the introduction of *Typhlodromalus aripo* for the biological control of cassava green mite in Africa. *Biol. Control* 41, 190–198. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCONTROL.2007.01.016>
- Zarrad, K., Hamouda, A. Ben, Chaieb, I., Laarif, A., Jemâa, J.M.-B., 2015. Chemical composition, fumigant and anti-acetylcholinesterase activity of the tunisian *Citrus aurantium* L. essential oils. *Ind. Crops Prod.* 76, 121–127. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2015.06.039>

ANEXOS

Tabela 1: Composição química dos óleos essenciais das cultivares copas de citros

Pico	T _r (min)	Composto	IR ^a exp	IR ^b lit	(%) área do pico (DIC)/Cultivar			
					Kona	Pera	Persian l. 58	Piemonte
1	5,650	Acetato de butila	840	807	0,12	0,12	0,22	0,16
2	7,425	Acetato de 3-metil-1-butanol	883	869	0,12	0,10	0,21	0,16
3	9,295	α -Tujeno	929	924	0,35	0,41	-	0,27
4	9,600	α -Pineno	936	932	1,72	2,02	0,34	1,27
5	11,350	Sabineno	979	969	39,49	44,72	0,98	30,76
6	11,465	β -Pineno	981	974	2,24	2,66	tr	2,24
7	11,785	6-Metil-5-hepten-2-eno	990	981	0,61	0,13	0,90	-
8	11,990	Mirceno	994	988	4,23	4,31	0,80	2,76
9	12,620	α -Felandreno	1008	1002	-	-	-	0,32
10	12,945	δ -3-Careno	1015	1008	10,73	10,78	-	4,28
11	13,180	α -Terpineno	1020	1014	-	-	-	0,60
12	13,430	<i>p</i> -Cimeno	1025	1020	0,16	0,16	-	-
13	13,555	<i>o</i> -Cimeno	1028	1022	2,19	2,49	0,18	0,23
14	13,775	Limoneno	1032	1024	4,33	3,57	52,63	2,15
15	13,970	1,8-Cineol	1032	1026	-	-	3,38	-
16	14,155	(<i>Z</i>)- β -Ocimeno	1040	1032	0,15	0,13	-	0,21
17	14,725	(<i>E</i>)- β -Ocimeno	1052	1044	1,35	1,10	-	8,07
18	15,215	γ -Terpineno	1062	1054	-	-	-	1,06
19	15,620	Hidrato de cis-sabineno	1071	1065	0,79	0,57	-	0,60
20	16,685	Terpinoleno	1093	1086	0,24	0,21	-	0,98
21	17,255	Linalol	1105	1095	12,59	10,78	1,33	38,14
22	18,325	<i>cis-p</i> -Ment-2-en-1-ol	1126	1118	0,18	0,19	-	0,14
23	18,907	<i>cis</i> -óxido-limoneno	1138	1132	-	-	2,22	-
24	19,120	<i>trans</i> -óxido-limoneno	1143	1137	tr	0,14	1,17	-
25	19,870	Citronelal	1157	1148	0,62	0,74	0,37	0,47
26	21,190	Terpinen-4-ol	1184	1174	2,65	3,10	-	2,27
27	21,545	<i>p</i> -Cymen-8-ol	1191	1179	0,30	0,38	-	-
28	21,820	α -Terpineol	1197	1186	1,42	0,93	0,82	0,85
29	23,585	Citronelol	1233	1223	1,26	0,91	3,07	-
30	24,240	Neral	1247	1235	3,11	1,80	7,48	-
31	24,890	Geraniol	1258	1249	0,92	0,51	2,60	-
32	25,695	Geranial	1277	1264	4,05	2,95	9,51	-
33	28,125	NI	1328	-	-	-	0,20	-
34	28,285	NI	1332	-	-	-	0,37	-
35	28,485	Ácido nérico	1336	1330*	-	-	0,49	-
36	28,790	NI	1343	-	-	-	0,51	-
37	28,905	NI	1345	-	-	-	0,57	-
38	29,010	Limoneno-1,2-diol	1347	1343*	-	-	0,41	-
39	30,005	Acetato de Nerila	1369	1359	0,20	-	1,96	-
40	30,325	Ácido gerânico	1376	1355*	-	-	0,66	-
41	30,605	NI	1382	-	-	-	0,55	-
42	30,950	Acetato de Geranila	1389	1379	0,20	0,14	1,23	-
43	31,445	β -Elemeno	1400	1389	0,66	1,06	-	1,29
44	32,730	(<i>E</i>)-Cariofileno	1429	1417	0,14	0,22	-	0,18
45	39,805	Óxido de cariofileno	1596	1582	-	-	0,47	-
46	44,205	β -Sinensal	1708	1699	0,77	0,47	-	-
Total					97,89	97,80	95,63	99,46

T_r: tempo de retenção; ^aIR exp.: índice de retenção na coluna RTX-5MS calculada de acordo com van Den Dool e Kratz (1963); ^bIR lit.: índice de retenção de acordo com Adams (2007); tr: quantidades vestigiais de compostos.

Tabela 2: Concentrações letais (CLs) (mg/mL) dos óleos essenciais de quatro cultivares copas de citros e enantiômeros do limoneno a *Mononychellus tanajoa*. χ^2 : qui-quadrado; P-valor; n: número de indivíduos; IC: intervalo de confiança.

Óleos essenciais	χ^2	P	n	CL ₂₅ (95% IC)	CL ₅₀ (95% IC)	CL ₈₀ (95% IC)	RT
Persian lime 58	4,76	0,31	720	3,12 (2,65-3,55)	5,79 (5,26-6,35) a	12,53 (11,06-14,68)	-
Piemonte	3,99	0,26	600	4,16 (3,47-4,79)	7,74 (6,93-9,66) a	16,82 (14,71-19,93)	1,34 (1,18-1,52)
Kona	4,98	0,17	600	4,62 (3,87-5,30)	8,55 (7,67-9,48) a	18,44 (16,09-21,92)	1,48 (1,30-1,68)
Pera D6	4,26	0,23	600	4,96 (4,12-5,72)	9,54 (8,54-10,65) a	21,59 (18,47-26,52)	1,65 (1,43-1,89)
S-(-)-limoneno	7,56	0,11	720	4,55 (3,88-5,18)	9,71 (8,65-11,07) a	24,97 (20,33-33,01)	1,68 (1,41-1,99)
R-(+)-limoneno	6,21	0,10	600	5,73 (4,79-6,58)	12,04 (10,63-13,95) b	30,47 (24,30-42,07)	2,08 (1,72-2,51)

RT: razão de toxicidade = (maiores CL_{s50}/menor CL₅₀). Os valores de RT são considerados significativamente diferentes ($P < 0,05$) se não incluírem o valor 1 (Robertson et al. 2007).

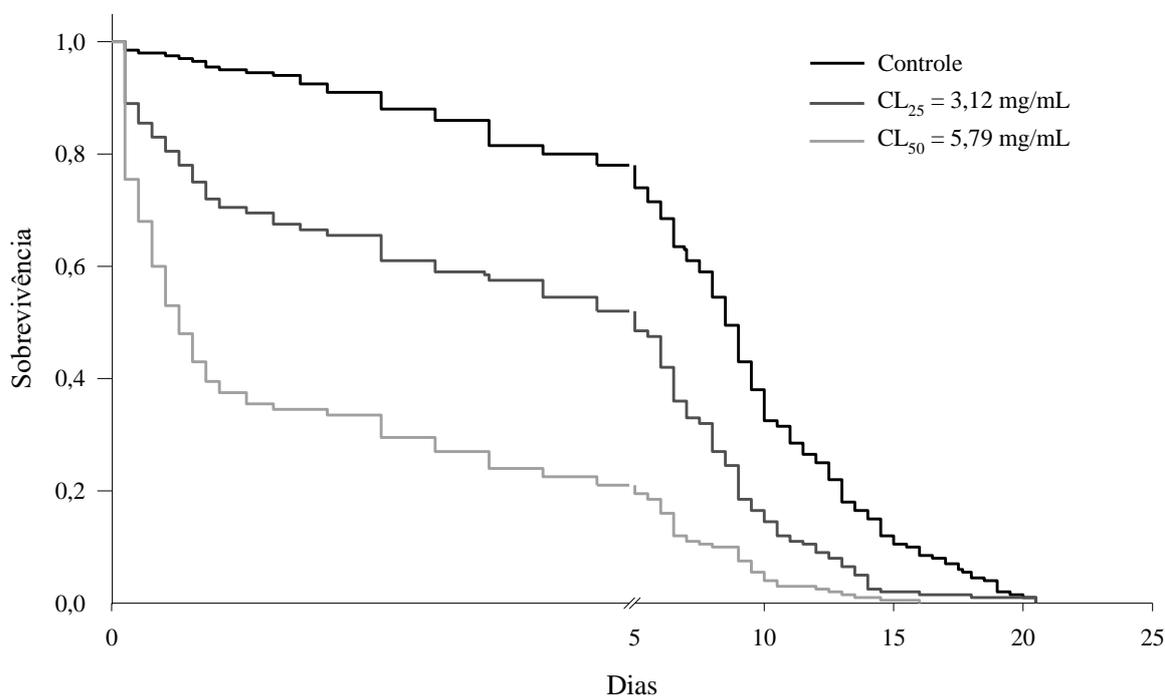


Figura 1: Curvas de sobrevivência de fêmeas de *Mononychellus tanajoa* expostas as CL₂₅ e CL₅₀ do óleo essencial de ‘Persian lime 58’.

Tabela 3: ANOVAS para medidas repetidas com dados de consumo de *Mononychellus tanajoa* por *Ceraeochrysa caligata* sob o efeito da CL₅₀ do óleo essencial de ‘Persian lime 58’.

Fonte de variação	df	F	P		
Entre efeitos					
Óleo essencial (OE)	1	0,02	0,89		
Densidade (D)	1	59,85	<***0,001		
Dias de avaliação (DA)	2	165,68	<***0,001		
OE vs D	1	0,22	0,64		
OE vs DA	2	0,88	0,42		
D vs DA	2	8,26	<***0,001		
D vs OE vs DA	2	0,38	0,68		
Erro	105	-	-		
Dentro dos efeitos					
Tempo em horas (T)	df _{den}	df _{num}	lambda Wilks'	F	P
T vs OE	103	3	0,573	25,55	<***0,001
T vs D	103	3	0,902	3,72	***0,01
T vs DA	103	3	0,957	1,52	0,21
T vs OE vs D	206	6	0,761	5,02	<***0,001
T vs OE vs DA	103	3	0,975	0,89	0,44
T vs D vs DA	206	6	0,896	1,94	0,08
T vs OE vs D vs DA	206	6	0,990	0,16	0,98
T vs OE vs D vs DA	206	6	0,965	0,62	0,72

F: teste f; P-valor; df: graus de liberdade; df_{den}: graus de liberdade dentro dos efeitos; df_{num}: graus de liberdade entre os efeitos; *Significativo (P < 0,05).

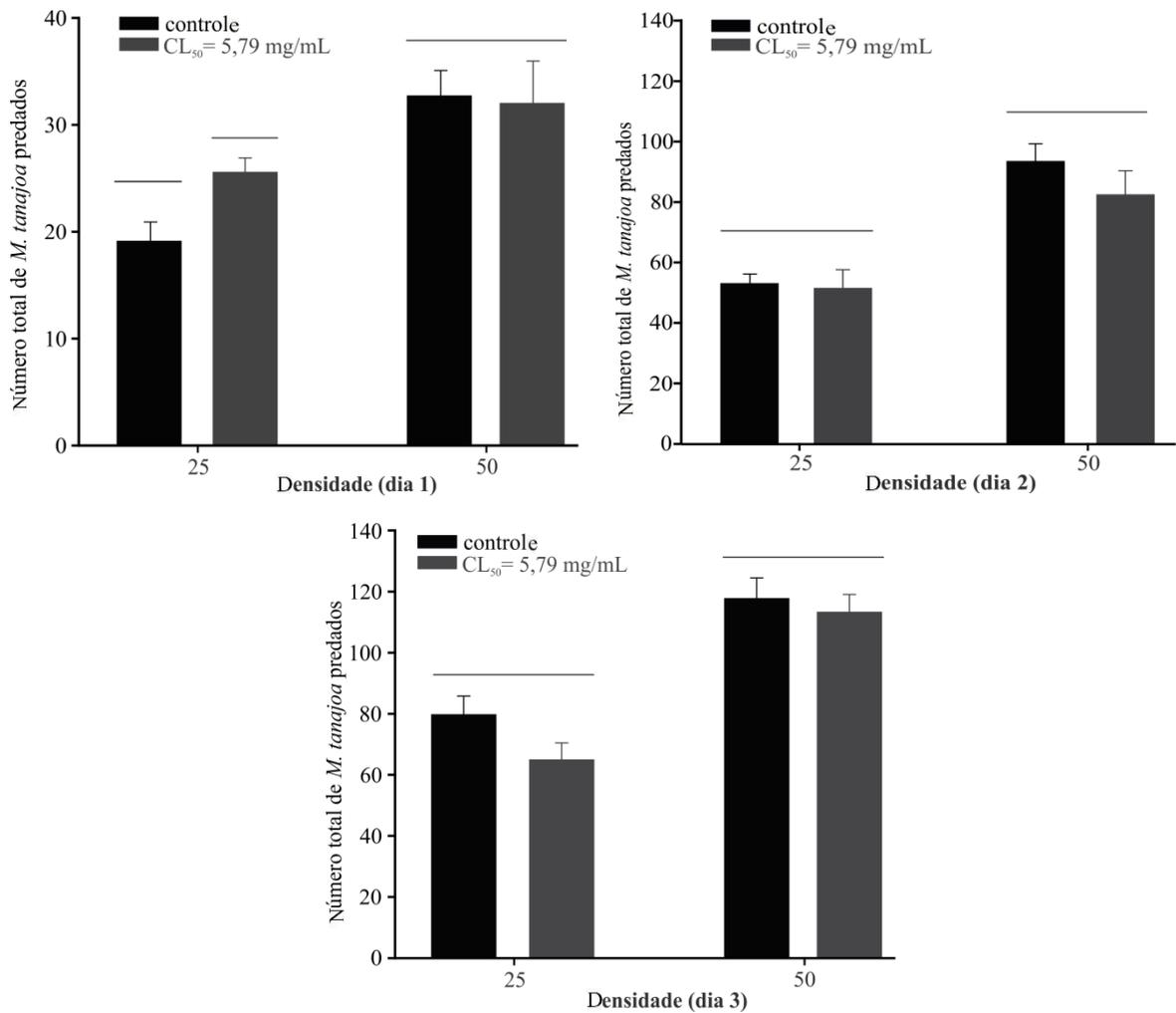


Figura 2: Número médio de adultos de *Mononychellus tanajoa* predados por larvas de *Ceraeochrysa caligata* expostas ao óleo essencial de ‘Persian lime 58’, em função de duas densidades da presa a cada dia. Barras identificam diferença significativa pelo teste de t-Student ($P < 0,05$).

Tabela 4: Resumo de análises de regressão do efeito do tempo (h) no consumo diário de *Mononychellus tanajoa* por *Ceraeochrysa caligata*.

Variável	Modelo	Densidades	Parâmetros estimados (\pm DP)				F	P	R ²
			a	b	x0	y0			
Dia 1	f = y0+a*x	25c	-0,12 \pm 0,04	-	\pm	3,61 \pm 0,55	7,18	0,05	0,64
		25	5,64 \pm 0,57	4,26 \pm 1,13	4,01 \pm 0,95	-	15,19	0,03	0,85
	f = a*exp(-,5*((x-x0)/b)^2)	50c	6,64 \pm 0,46	3,58 \pm 0,49	4,76 \pm 0,36	-	45,45	0,005	0,97
		50	6,59 \pm 0,52	4,11 \pm 0,73	4,59 \pm 0,57	-	24,95	0,01	0,94
Dia 2	f = a*exp(-,5*((x-x0)/b)^2)	25c	12,24 \pm 1,07	3,05 \pm 0,45	5,26 \pm 0,34	-	26,05	0,01	0,95
		25	13,86 \pm 1,58	2,68 \pm 0,49	4,43 \pm 0,38	-	20,09	0,01	0,93
	f = y0+a*exp(-,5*((x-x0)/b)^2)	50c	15,86 \pm 0,51	2,64 \pm 0,12	5,62 \pm 0,08	3,76 \pm 0,39	317,10	0,003	0,99
		50	16,79 \pm 0,89	2,41 \pm 0,16	4,75 \pm 0,12	2,97 \pm 0,60	120,88	0,008	0,99
Dia 3	f = a*exp(-,5*((x-x0)/b)^2)	25c	18,97 \pm 1,06	3,51 \pm 0,36	5,10 \pm 0,27	-	65,81	0,003	0,98
		25	18,56 \pm 1,27	2,92 \pm 0,34	4,64 \pm 0,25	-	59,43	0,004	0,98
		50c	29,99 \pm 1,60	3,03 \pm 0,27	5,46 \pm 0,21	-	79,88	0,003	0,98
		50	27,32 \pm 2,04	3,67 \pm 0,62	4,21 \pm 0,48	-	38,34	0,007	0,96

DP: desvio padrão; F: teste f; P: P-valor; R²: coeficiente de determinação. Densidades com (c) equivalem ao controle.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo revela as variedades de compostos encontrados nos óleos essenciais de cultivares copas de citros, as quais estão sendo estudadas para fins da diversificação da citricultura. Os óleos essenciais das laranjeiras 'Pera e Kona', tangerineira 'Piemonte' e limeira ácida 'Persian lime 58' e o composto S-(-)-limoneno tiveram maior potencial para o manejo de *M. tanajoa* do que R-(+)-limoneno. Além disso, o óleo de 'Persian lime 58' interferiu no período de vida de *M. tanajoa* em concentrações subletais e foi seletivo a *C. caligata*, baseado na mortalidade e consumo desse predador.

Os resultados podem contribuir para estudos sobre a possível variação da composição química e atividade de óleos essenciais de cultivares copas de citros sobre diferentes porta-enxertos. Além disso, a baixa solubilidade em meio aquoso e volatilidade de óleos essenciais cítricos são limitações para o uso direto no controle de pragas, podendo ser estabilizadas por tensoativos, como emulsões, sistemas micelares e microemulsões.