



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/FITOTECNIA**

**WENNER VINICIUS ARAÚJO SARAIVA**

**BASES PARA O MANEJO DA MOSCA-BRANCA *Aleurodicus cocois* (CURTIS, 1846)**  
**(HEMIPTERA: ALEYRODIDAE) NA CULTURA DO CAJUEIRO**

**FORTALEZA**

**2019**

WENNER VINICIUS ARAÚJO SARAIVA

BASES PARA O MANEJO DA MOSCA-BRANCA *Aleurodicus cocois* (CURTIS, 1846)  
(HEMIPTERA: ALEYRODIDAE) NA CULTURA DO CAJUEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia: Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia: Fitotecnia. Área de concentração: Entomologia.

Orientador: Dra. Nívia da Silva Dias-Pini

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S247b Saraiva, Wenner Vinicius Araújo.  
Bases para o manejo da mosca-branca *Aleurodicusocois* (Curtis, 1846) (Hemiptera: Aleyrodidae) na cultura do cajueiro / Wenner Vinicius Araújo Saraiva. – 2019.  
87 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2019.

Orientação: Profa. Dra. Nivia da Silva Dias-Pini .

Coorientação: Prof. Dr. José Wagner da Silva Melo.

1. Compostos orgânicos voláteis. 2. Crisopídeo. 3. Mosca-branca-do-cajueiro. 4. Óleos vegetais. I. Título.  
CDD 630

---

WENNER VINICIUS ARAÚJO SARAIVA

BASES PARA O MANEJO DA MOSCA-BRANCA *Aleurodicus cocois* (CURTIS, 1846)  
(HEMIPTERA: ALEYRODIDAE) NA CULTURA DO CAJUEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia: Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia: Fitotecnia. Área de concentração: Entomologia.

Aprovada em 23/07/2019

BANCA EXAMINADORA

---

Prof<sup>a</sup>.Dr<sup>a</sup>. Nívia da Silva Dias-Pini (Orientadora)  
Embrapa Agroindústria Tropical

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Jose Wagner da Silva Melo  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr<sup>a</sup>. Cristiane Ramos Coutinho  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr<sup>a</sup>. Marilene Fancelli  
Embrapa Mandioca e Fruticultura

Àquele que nunca me abandonou nas minhas dores, angústias e nos momentos que achei que não conseguiria chegar onde estou e me tornar o que me tornei, pois “Deus é bom o tempo todo, o tempo todo Deus é bom!”.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida, pela força nos momentos de fraqueza e por todas as graças alcançadas em minha vida.

À minha orientadora Nívia da Silva Dias-Pini, pela confiança depositada para o desenvolvimento do presente trabalho, pelo exemplo de orientadora e profissional, pela amizade, conselhos, compreensão, paciência, incentivo e por todo conhecimento repassado na área de entomologia. Meu muito obrigado!

Ao professor José Wagner da Silva Melo, pela coorientação, amizade, todo conhecimento repassado na área de entomologia e disponibilidade em ajudar sempre quando necessário no desenvolvimento de todo o trabalho.

Aos meus eternos orientadores Ester Azevedo do Amaral e Adriano Soares Rêgo pelo apoio e orientação no desenvolvimento deste trabalho, pelo incentivo e pela recepção no laboratório da Universidade Estadual do Maranhão para o desenvolvimento dos experimentos.

A Dr. Guilherme Zocolo, Prof. Renato Inecco, Dr<sup>a</sup>. Tigressa Helena e Dr. Elenilson Godoy, pela contribuição com identificação e análises químicas do presente trabalho.

Aos meus amigos do laboratório de entomologia da Embrapa Agroindústria Tropical Gabriela Priscila, Nevile Monteiro, Lucas Farias, Gleidson Lopes, Poliana Duarte, Jéssica Fontes, obrigado por todo apoio, amizade, conversas, risadas e disponibilidade em ajudar em todos os momentos do presente trabalho. Vocês são muito especiais!

A Dra Marilene Fancelli, Mabel e Natiele pela disponibilidade e receptividade no laboratório de Ecologia vegetal da Embrapa Mandioca e Fruticultura em Cruz das Almas/BA.

Aos meus pais Valdir Ferreira Saraiva e Francilene Araújo Saraiva, por todo apoio em minhas decisões, por estarem do meu lado nos momentos mais difíceis durante essa caminhada, e mesmo em meio a dificuldades, sempre terem priorizado pela minha educação e a dos meus irmãos. Pai e mãe, obrigado pelo amor, pelas conversas, pelo incentivo e pelo cuidado, é por vocês que eu busco sempre o melhor. Meu amor por vocês é incondicional.

Aos meus irmãos Weyla Andréia Araújo Saraiva e Wellington Rafael Araújo Saraiva por quem tenho um amor tão grande, e prezo como exemplos a serem seguidos. Obrigado pela amizade, carinho, companheirismo, paciência, pelos sorrisos incontroláveis, pelo apoio e por todos os momentos que já passamos juntos.

A minha sobrinha/filha Maria Cecília Saraiva Cartagenes pela alegria que trouxe a família com sua chegada, e por fazer de cada momento único e especial.

A toda minha família (tios, tias, primos), pelo amor e apoio, especialmente à Ludmila Serejo, Rafaela Serejo, Arthur Saraiva, Andressa Serejo, Izolda Saraiva, Stela Saraiva, Milena Saraiva, Renato Serejo, Igor Cassiano, Marcelo Saraiva, Bianca Emanuele, Marcos Cartágenes. Os momentos em família com todos vocês foram essenciais para seguir em frente nessa caminhada.

Aos meus amigos de turma de mestrado em especial Luilson Pinheiro, Flena Vereza, Johny Souza, Suane Brasil, Lorena Girão obrigado pelos momentos compartilhados.

Aos meus amigos que se tornaram minha família durante esse período no Ceará, em especial Jefter Arnon, Hosano Lemos, Clemente Fernandes, Brito Sousa, Vitor Hugo, Isadora Vieira, Wenderson Almeida, Emanuele Saraiva, Ingrid Sousa, Flavia Torres, Analya Roberta, Liliane Nunes, meu muito obrigado pelo apoio, amizade e momentos compartilhados.

Aos amigos do laboratório de entomologia da Universidade Estadual do Maranhão que contribuíram com o desenvolvimento da pesquisa Taynara Cruz, Ana Carolina, Orlenisce Passos, Helton Boaventura. Obrigado por todo apoio.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo apoio científico.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho. Muito obrigado.

## RESUMO

A mosca-branca do cajueiro *Aleurodicus cocois* (Curtis, 1846) (Hemiptera: Aleyrodidae) é uma das principais pragas do cajueiro *Anacardium occidentale* L. no Brasil. Na busca por novas estratégias de controle de *A. cocois*, objetivou-se nesse trabalho: 1- Caracterizar os compostos orgânicos voláteis (COVs) emitidos por clones de cajueiro-anão, e avaliar a resposta comportamental de *A. cocois* frente a esses compostos em laboratório e em campo; 2- Avaliar a resposta olfativa do predador *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae), aos voláteis de cajueiro-anão-induzidos pela herbivoria de *A. cocois*, bem como o potencial de predação desse inimigo natural sobre ovos e ninfas de *A. cocois*; 3- Avaliar o perfil químico e a toxicidade da mistura dos óleos essenciais de *Lippia sidoides* Cham (Verbenaceae) e *Cymbopogon winterianum* Jowitt (Poaceae) sobre o terceiro e quarto estágio ninfal de *A. cocois*, bem como sua seletividade ao predador *C. externa*. Um olfatômetro de quatro braços foi utilizado para investigar a resposta comportamental de fêmeas adultas de *A. cocois* frente aos compostos voláteis de folhas dos clones de cajueiro (CCP 76, EMBRAPA 51 e PRO 143/7). Os compostos voláteis emitidos pelas folhas, dos três clones de cajueiro, foram analisados por microextração em fase sólida acoplada à GC-MS. Nos ensaios de campo CCP 76 e EMBRAPA 51 foram clones de cajueiro mais infestados por *A. cocois*. Os bioensaios revelaram que os compostos voláteis de CCP 76 foram atraentes para *A. cocois*, enquanto voláteis de EMBRAPA 51 e PRO 143/7 foram menos atraentes para os insetos quando comparados a um controle (ar). De acordo com a análise de componentes principais existe diferença entre os perfis químicos dos três clones de cajueiro, sendo que no clone CCP 76 as emissões dos compostos são em níveis intermediários. A resposta funcional de larvas de primeiro instar de *C. externa* alimentadas com ovos e ninfas de *A. cocois*, bem como a resposta olfativa das larvas de terceiro instar desse predador, aos voláteis de dois clones de cajueiro-anão (CCP 76 e PRO 143/7) induzidos pela herbivoria de *A. cocois* foram conduzidos em laboratório. Os compostos voláteis emitidos pelas folhas dos dois clones de cajueiro, infestados e não infestados por *A. cocois*, foram analisados por microextração em fase sólida acoplada à GC-MS. A regressão logística indicou que larvas de primeiro instar de *C. externa* exibiram uma resposta do tipo II quando alimentadas ovos e ninfas de *A. cocois*. Nos testes comportamentais larvas de terceiro instar de *C. externa* foram capazes de distinguir e selecionar os sinais voláteis emitidos após a infestação de *A. cocois*, independente do clone de cajueiro avaliado. De acordo com os voláteis dos clones de cajueiro avaliados, existe

diferença nos perfis químicos de plantas infestadas e não infestadas por *A. cocois*. Em laboratório foram avaliados o perfil químico e a toxicidade da mistura dos óleos essenciais de *L. sidoides* e *C. winterianum* sobre o terceiro e quarto estágio ninfal de *A. cocois*, bem como sua seletividade ao predador *C. externa*. Os resultados revelaram que os óleos essenciais de ambas as plantas são constituídos por monoterpenos. Nos bioensaios de concentração e mortalidade foi revelado a toxicidade da mistura dos óleos essenciais avaliados sobre o terceiro e quarto estágio ninfal de *A. cocois* por meio da sua  $CL_{50}$ , estimadas em  $0,97 \mu\text{L}/\text{cm}^2$  e  $1,48 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ , respectivamente. Em todas as concentrações avaliadas, a mistura dos óleos essenciais causou baixa mortalidade de ovos e larvas de *C. externa* e não alterou o tempo de desenvolvimento do predador. No entanto a mistura dos óleos foi repelente para o predador.

**Palavras-chave:** compostos orgânicos voláteis; crisopídeo; mosca-branca-do-cajueiro; óleos vegetais.

## ABSTRACT

The cashew whitefly *Aleurodicus cocois* (Curtis, 1846) (Hemiptera: Aleyrodidae) is one of the main pests of the cashew tree *Anacardium occidentale* L. in Brazil. In the search for new control strategies for *A. cocois*, this study aimed to: 1- Characterize the volatile organic compounds (VOCs) emitted by dwarf cashew tree clones, and evaluate the behavioral response of *A. cocois* to these compounds in laboratory and in the field; 2- Evaluate the olfactory response of the predator *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae), to dwarf cashew volatiles induced by *A. cocois* herbivory, as well as the predation potential of this natural enemy on eggs and nymphs of *A. cocois*; 3- Evaluate the chemical profile and toxicity of the mixture of essential oils of *Lippiasidoides* Cham (Verbenaceae) and *Cymbopogon winterianum* Jowitt (Poaceae) on the third and fourth nymph stages of *A. cocois*, as well as its selectivity to the predator *C. externa*. A four-arm olfactometer was used to investigate the behavioral response of adult females of *A. cocois* to volatile compounds from leaves of cashew tree clones (CCP 76, EMBRAPA 51 and PRO 143/7). The volatile compounds emitted by the leaves of the three cashew tree clones were analyzed by microextraction in solid phase coupled to GC-MS. In the field trials CCP 76 and EMBRAPA 51 were cashew tree clones most infested by *A. cocois*. Bioassays revealed that CCP 76 volatiles were attractive to *A. cocois*, while EMBRAPA 51 and PRO 143/7 volatiles were less attractive to insects when compared to a control (air). According to the analysis of principal components, there is a difference between the chemical profiles of the three cashew tree clones, and in clone CCP 76 the emissions of compounds are at intermediate levels. The functional response of first-instar larvae of *C. externa* fed on eggs and nymphs of *A. cocois*, as well as the olfactory response of third-instar larvae of this predator, to the volatiles of two dwarf cashew tree clones (CCP 76 and PRO 143 /7) induced by herbivory of *A. cocois* were conducted in the laboratory. The volatile compounds emitted by the leaves of the two cashew tree clones, infested and not infested by *A. cocois*, were analyzed by microextraction in solid phase coupled to GC-MS. Logistic regression indicated that first-instar larvae of *C. externa* exhibited a type II response when fed *A. cocois* eggs and nymphs. In the behavioral tests, third instar larvae of *C. externa* were able to distinguish and select the volatile signals emitted after infestation by *A. cocois*, regardless of the cashew tree clone evaluated. According to the volatiles of the evaluated cashew tree clones, there is a difference in the chemical profiles of plants infested and not infested by *A. cocois*. In the laboratory, the chemical profile and

toxicity of the mixture of essential oils from *L. sidoides* and *C. winterianum* on the third and fourth nymphal stages of *A. cocois*, as well as its selectivity to the predator *C. externa*, were evaluated. The results revealed that the essential oils of both plants are composed of monoterpenes. In the concentration and mortality bioassays, the toxicity of the mixture of essential oils evaluated on the third and fourth nymphal stages of *A. cocois* was revealed through its  $LC_{50}$ , estimated at  $0.97 \mu\text{L}/\text{cm}^2$  and  $1.48 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ , respectively. In all evaluated concentrations, the mixture of essential oils caused low mortality of eggs and larvae of *C. externa* and did not change the development time of the predator. However, the mixture of oils was repellent to the predator.

**Keywords:** volatile organic compounds; chrysopídeo; cashew whitefly; vegetable oil

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO 1 - ATRAÇÃO DA MOSCA-BRANCA <i>Aleurodicus cocois</i> (HEMIPTERA: ALEYRODIDAE) MEDIADA POR VOLÁTEIS DE CAJUEIRO.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2</b>	<b>Materiais e Métodos.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.1</b>	<b><i>Avaliação da infestação de mosca branca em clones de cajueiro anão.....</i></b>	<b>22</b>
<b>2.2.2</b>	<b><i>Multiplicação de plantas hospedeiras e criação de insetos.....</i></b>	<b>23</b>
<b>2.2.3</b>	<b><i>Experimentos com olfatômetro.....</i></b>	<b>24</b>
<b>2.2.4</b>	<b><i>Análise de voláteis do cajueiro por SPME-GC-MS.....</i></b>	<b>24</b>
<b>2.2.5</b>	<b><i>Análise estatística.....</i></b>	<b>25</b>
<b>2.3</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.1</b>	<b><i>Avaliação da infestação de mosca branca em clones de cajueiro anão.....</i></b>	<b>26</b>
<b>2.3.2</b>	<b><i>Experimentos com olfatômetro.....</i></b>	<b>27</b>
<b>2.3.3</b>	<b><i>Análise volátil do cajueiro por SPME-GC-MS.....</i></b>	<b>29</b>
<b>2.4</b>	<b>Discussão.....</b>	<b>32</b>
<b>2.5</b>	<b>Conclusões.....</b>	<b>36</b>
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO 2 - <i>Chrysoperla externa</i> (NEUROPTERA: CHRYSOPIDAE) É UM BOM CANDIDATO NA PREDACÃO DE <i>Aleurodicus cocois</i> (CURTIS, 1846) (HEMIPTERA: ALEYRODIDAE) NA CULTURA DO CAJUEIRO.....</b>	<b>37</b>
<b>3.1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>40</b>
<b>3.2</b>	<b>Materiais e Métodos.....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.1</b>	<b><i>Criação dos insetos.....</i></b>	<b>42</b>
<b>3.2.2</b>	<b><i>Multiplicação das plantas para bioensaios de olfatometria.....</i></b>	<b>43</b>
<b>3.2.3</b>	<b><i>Resposta funcional de <i>C. externa</i> alimentada com ovos e ninfas de <i>A. cocois</i>..</i></b>	<b>43</b>
<b>3.2.4</b>	<b><i>Bioensaios de olfatometria de <i>C. externa</i> exposta a voláteis de cajueiro não infestado e infestado por <i>A. cocois</i>.....</i></b>	<b>44</b>
<b>3.2.5</b>	<b><i>Análise de voláteis das folhas de diferentes genótipos de cajueiro usando o método SPME–GC–MS.....</i></b>	<b>45</b>
<b>3.2.6</b>	<b><i>Análise de dados.....</i></b>	<b>46</b>

3.3	Resultados.....	48
3.3.1	<i>Resposta funcional de C. externa alimentada com ovos e ninfas de A. cocois..</i>	48
3.3.2	<i>Bioensaios de olfatometria de C. externa exposta a voláteis de cajueiro não infestado e infestado por A. cocois.....</i>	51
3.3.3	<i>Análise de voláteis das folhas de diferentes genótipos de cajueiro usando o método SPME–GC–MS.....</i>	51
3.4	Discussão.....	57
3.5	Conclusão.....	60
4	<b>CAPÍTULO 3 - BIOATIVIDADE DA MISTURA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS DE <i>Lippia sidoides</i> E <i>Cymbopogon winterianum</i> À <i>Aleurodicus cocois</i> (HEMIPTERA: ALEYRODIDAE) E SELETIVIDADE AO SEU INIMIGO NATURAL <i>Chrysoperla externa</i> (NEUROPTERA: CHRYSOPIDAE)</b> .....	61
4.1	Introdução.....	64
4.2	Materiais e Métodos.....	65
4.2.1	<i>Extração dos óleos essenciais.....</i>	65
4.2.2	<i>Composição química dos óleos essenciais.....</i>	66
4.2.3	<i>Mistura dos óleos essenciais.....</i>	66
4.2.4	<i>Criação do inseto predador C. externa.....</i>	66
4.2.5	<i>Toxicidade da mistura de óleos essenciais a A. cocois.....</i>	67
4.2.6	<i>Mortalidade, velocidade de desenvolvimento, efeito ovicida e repelência de C. externa expostos a diferentes concentrações da mistura de óleos essenciais.....</i>	68
4.3	Resultados.....	69
4.3.1	<i>Composição química dos óleos essenciais.....</i>	69
4.3.2	<i>Toxicidade do produto a base de óleos essenciais a A. cocois.....</i>	71
4.3.3	<i>Mortalidade, velocidade de desenvolvimento, efeito ovicida e repelência de C. externa expostos a diferentes concentrações da mistura de óleos essenciais.....</i>	72
4.4	Discussão.....	76
4.5	Conclusão.....	78
5	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	79
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	80

## 1 INTRODUÇÃO

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é cultivado visando, principalmente, a exploração da amêndoa da castanha, que é uma das mais consumida no mundo (CAVALCANTE; VIDAL NETO; BARROS, 2013). Além disso, tem como outros produtos de importância econômica o líquido da casca da castanha (LCC) e o pedúnculo (pseudofruto comestível) (SERRANO; PESSOA, 2016). Na safra 2018, a área plantada no Brasil foi de 460 mil hectares e a produção de castanha-de-caju alcançou 141 mil toneladas. Os Estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte produziram juntos aproximadamente 126 mil toneladas de castanha-de-caju (IBGE, 2019).

No cultivo do cajueiro, os danos ocasionados por insetos-praga estão entre os fatores que mais afetam a produção. Nas áreas produtoras do Nordeste, dentre as principais pragas que vem causando prejuízos aos produtores destacam-se a traça-da-castanha *Anacampsisphytomiella* Busck (Lepidoptera: Gelechiidae), a broca-dos-ponteiros *Anthistarchabinocularis* Meyrick, 1929 (Lepidoptera, Gelechiidae) e a mosca-branca-do-cajueiro *Aleurodicus cocois* (Curtis, 1846) (Hemiptera: Aleyrodidae) (MESQUITA; SOBRINHO, 2013).

No Brasil *A. cocois* é uma das principais pragas do cajueiro (BLEICHER; MELO, 1996; GOIANA *et al.*, 2017). Esse inseto tem potencial de danificar o cajueiro de forma direta pela sucção da seiva, o que causa anomalias ou desordens fitotóxicas, caracterizadas pelo amarelecimento de folhas e ramos (LIU; COLVIN; BARRO, 2012). Indiretamente, *A. cocois* favorece o desenvolvimento de fumagina (fungo *Capnodium* sp.) que pode comprometer a fotossíntese da planta, com consequências na produtividade de castanhas (MOTA; MESQUITA, 2018).

Dificuldades no controle de *A. cocois* são encontradas pelos cajucultores no Brasil. Estratégias de manejo com inseticidas não certificados foram utilizados em anos anteriores, uma vez que o primeiro registro de um produto formulado para esta praga se deu apenas no ano de 2019 (AGROFIT, 2019). Entretanto, o uso indiscriminado de pesticidas sintéticos no controle de moscas-brancas pode desencadear problemas como a seleção de insetos resistentes, contaminação ambiental, mortalidade de inimigos naturais (BACCI *et al.*, 2007; HOROWITZ; ISHAAYA, 2014; CHAGNON *et al.*, 2015). Dessa forma, novas abordagens de manejo de *A. cocois* vêm sendo investigadas com a seleção de clones de cajueiro resistentes (GOIANA *et al.*, 2019). A resistência da planta hospedeira é uma ferramenta importante para o manejo integrado

de pragas (MIP), pois é de baixo custo, reduz o risco de desenvolvimento de pragas resistentes a inseticidas sintéticos, mais durável e é compatível com outros métodos de controle (SMITH; CLEMENT, 2012; BOIÇA JÚNIOR *et al.*, 2013).

Além dos estudos com plantas resistentes, os semioquímicos produzidos por plantas têm potencial para o desenvolvimento de estratégias de controle de pragas, pois sabe-se que geralmente os insetos herbívoros reconhecem e localizam suas plantas hospedeiras através da detecção de misturas características de compostos orgânicos voláteis (COV's) emitidos por elas (WEBSTER *et al.*, 2010). As plantas produzem variadas misturas de compostos orgânicos voláteis como monoterpenos, sesquiterpenos, aldeídos e voláteis de folha verde (VFs) (RAJABASKAR *et al.*, 2013). Esses compostos têm a função primária de proteger as plantas do ataque de patógenos, atrair polinizadores e animais disseminadores de sementes (PINTO-ZEVALLOS *et al.*, 2013). No entanto, estudos a respeito do papel que os compostos voláteis constitutivos desempenham na seleção hospedeira dos insetos herbívoros, podem ser úteis em programas de melhoramento genético vegetal, ao auxiliar na identificação de cultivares resistentes ou tolerantes a insetos-pragas (ROBBINS *et al.*, 2012). Isso porque, embora estas substâncias sejam comuns em várias espécies de plantas, as características quantitativas e qualitativas dos perfis de voláteis parecem ser particulares (DEGEN *et al.*, 2004; DELPHIA *et al.*, 2009; SPLIVALLO *et al.*, 2012; WASON; HUNTER, 2014). De fato, com base nos perfis voláteis constitutivos tem sido possível identificar cultivares pouco preferido ou mesmo repelente para moscas-brancas nas mais diversas culturas agrícolas (BLEEKER *et al.*, 2009; SACCHETTI *et al.*, 2015; DARSHANEE *et al.*, 2017; TU; QIN, 2017). No entanto, para a cultura do cajueiro, estudos envolvendo a caracterização de compostos voláteis constitutivos de diferentes clones, bem como a resposta comportamental de *A. cocois* frente a esses compostos ainda são escassos.

Outro ponto que merece ser investigado envolvendo compostos voláteis é a resposta das plantas hospedeiras ao estresse biótico causado por insetos-praga. Os voláteis de plantas geralmente sofrem modificações após ataque de insetos herbívoros, essas mudanças são resultado de danos desenvolvidos durante a alimentação ou postura de ovos nas folhas (COLAZZA; MCELFRISH; MILLAR, 2004; NIEDERBACHER; WINKLER; SCHNITZLER, 2015). Esses compostos atuam como um mecanismo de defesa indireta das plantas, pois fornecem importantes pistas de forrageamento para os inimigos naturais localizarem suas presas ou hospedeiros (PINTO-ZEVALLOS *et al.*, 2013). As versões sintéticas de muitos voláteis induzidos após o ataque dos herbívoros têm potencial para serem utilizados

como atraentes para os inimigos naturais em áreas agrícolas, promovendo o controle biológico (PINTO-ZEVALLO *et al.*, 2013).

Na cultura do cajueiro investigações que visam caracterizar compostos voláteis induzidos por *A. cocois* podem ser de grande utilidade no seu manejo, pois podem fornecer informações a respeito de compostos que possam favorecer a entomofauna de predadores associada a essa praga. Recentemente, a espécie de crisopídeo *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) foi encontrada forrageando folhas de cajueiro-anão associado a colônias de *A. cocois* (GOIANA *et al.*, 2017). Essa espécie de crisopídeo é uma das mais ocorrentes em ambientes agrícolas no Brasil (FREITAS; PENNY, 2001; SOUZA; CARVALHO, 2002; OLIVEIRA *et al.*, 2012; RESENDE *et al.*, 2014). Sendo considerada como de alto potencial para uso em programas de controle biológico nas regiões tropicais (ALBUQUERQUE; TAUBER; TAUBER, 2001). Embora tenha sido relatado, em associação com *A. cocois* nos cultivos de cajueiro, não se conhece sobre as respostas comportamentais de *C. externa* frente a compostos voláteis de cajueiro induzidos por *A. cocois*, nem sobre o potencial de predação desse inimigo natural sobre a praga em questão. Segundo Leman *et al.* (2019) estudos que integram avaliações comportamentais de predadores expostos aos voláteis induzidos por insetos-praga com testes de predação devem ser considerados na seleção de um inimigo natural eficaz.

A escolha de um inimigo natural visando o controle biológico deve ser fundamentada em estudos que comprovem a praga-alvo como um alimento aceito pelo predador (PARRA *et al.*, 2002). Portanto, o potencial de inimigos naturais como agentes de controle biológico pode ser medido por meio de estudos de resposta funcional (HOLLING, 1959, 1961, 1966; JUMBO *et al.*, 2019); que mensura a taxa de predação em função da densidade da presa (HOLLING, 1959, 1961, 1996).

Além da escolha certa do inimigo natural, no planejamento de táticas e estratégias de manejo de pragas, é fundamental o entendimento da combinação de diferentes medidas de controle. No manejo integrado de pragas (MIP) um método de controle não pode reduzir a eficiência do outro, por isso medidas alternativas de controle, com uso de inseticidas botânicos, são estudadas, pois são geralmente menos nocivas aos organismos benéficos do que os químicos (SILVA *et al.*, 2018).

Pesquisas comprovaram que os óleos essenciais de plantas são uma alternativa viável aos produtos químicos sintéticos no controle das populações de pragas na agricultura (LIMA *et al.*, 2011; MAHMOODI; VALIZADEGAN, 2014; BALDIN *et al.*, 2015; DELETRE *et al.*, 2015, 2016; ZANDI-SOHANI *et al.*, 2018). Óleos essenciais são obtidos a partir da constituição

volátil das plantas através da técnica de arraste a vapor. São compostos principalmente de mono e sesquiterpenos e de fenilpropanoides, metabólitos que conferem às plantas suas características organolépticas (ENAN, 2001). O uso de óleos essenciais de plantas e seus derivados são um meio alternativo de controlar pragas e apresentam uma vantagem por serem menos nocivos ao homem e animais (TRIPATHI *et al.*, 2009; ISMAN; MIRESMAILLI; MACHIAL, 2011; LIMA *et al.*, 2013). Dentre as plantas medicinais com alto potencial de produção de óleos essenciais destacam-se alecrim-pimenta *Lippia sidoides* Chan (Verbenaceae) e capim-citronela *Cymbopogon winterianum* Jowitt (Poaceae), que tem seu cultivo amplamente distribuído nas regiões tropicais (MARCO *et al.*, 2007; LIMA *et al.*, 2013; SOARES; TAVARES-DIAS, 2013). Aplicações isoladas dos óleos essenciais dessas duas plantas mostraram controlar eficientemente insetos-pragas do meio urbano e agrícola (LIMA *et al.*, 2011; LIMA *et al.*, 2013; DELETRE *et al.*, 2015, 2016). No entanto, para *A. cocois* essas aplicações mostraram uma eficiência de controle moderada (BRAGA SOBRINHO *et al.*, 2018).

Os óleos essenciais de diferentes espécies de plantas podem ser utilizados em misturas, pois o efeito combinado pode potencializar o seu efeito tóxico contra insetos (TRABOULSI *et al.*, 2002; BENELLI *et al.*, 2017). Portanto investigar a mistura dos óleos essenciais *L. sidoides* e *C. winterianum* contra *A. cocois* pode ser útil no seu manejo. Além da mortalidade da praga-alvo é necessário conhecer o impacto dos óleos essenciais aos organismos não-alvo como, por exemplo, os inimigos naturais. Anteriormente, destacou-se *C. externa* como um potencial inimigo natural para o controle de *A. cocois* em cultivos de cajueiro (GOIANA *et al.*, 2017), assim torna-se imprescindível avaliar a compatibilidade dos óleos essenciais utilizados no controle de *A. cocois* a esse inimigo natural.

Considerando o exposto objetivou-se neste trabalho:

- 1- Caracterizar os compostos orgânicos voláteis (COVs), emitidos por clones de cajueiro-anão, e avaliar a resposta comportamental de *A. cocois* frente a esses compostos;
- 2- Avaliar a resposta olfativa do predador *C. externa*, aos voláteis de cajueiro-anão-induzidos pela herbivoria de *A. cocois*, bem como o potencial de predação desse inimigo natural sobre ovos e ninfas de *A. cocois*;
- 3- Avaliar o perfil químico e a toxicidade da mistura dos óleos essenciais de *L. sidoides* e *C. winterianum* sobre o terceiro e quarto estágio ninfal de *A. cocois*, bem como sua seletividade ao predador *C. externa*.

## **2 CAPÍTULO 1 - ATRAÇÃO DA MOSCA-BRANCA *Aleurodicus cocois* (HEMIPTERA: ALEYRODIDAE) MEDIADA POR VOLÁTEIS DE CAJUEIRO**

**RESUMO**

A hipótese desse trabalho é que a atração da mosca-branca do cajueiro, *Aleurodicus cocois*, depende das emissões voláteis dos cajueiros. Para testar essa hipótese, foi determinado o grau de infestação de *A. cocois* nos clones de cajueiro-anão: CCP 76, EMBRAPA 51 e PRO 143/7 em condições de campo, foi avaliado a resposta comportamental de fêmeas adultas de *A. cocois* aos voláteis vegetais desses clones em um olfatômetro de 4 vias, e foi caracterizado os compostos orgânicos voláteis liberados por cada clone de cajueiro anão por microextração em fase sólida e cromatografia gasosa-espectrometria de massa acoplada (GC-MS). Em condições de campo, o maior grau de *A. cocois* infestação foi encontrada em EMBRAPA 51 enquanto PRO 143/7 foi o clone menos infestado. Os bioensaios revelaram que os compostos voláteis de CCP 76 foram atrativos para *A. cocois* em ar puro, enquanto os voláteis de EMBRAPA 51 e PRO 143/7 não foram atrativos para mosca-branca. Os clones de cajueiro anão liberaram compostos voláteis comuns que diferiram em quantidade. De acordo com a análise de componentes principais, os compostos  $\alpha$ -pineno, mirceno, careno  $\delta$ -2, limoneno,  $\alpha$ -copaeno,  $\beta$ -cariofileno,  $\beta$ -ocimeno, alo-ocimeno e neo-alo-ocimeno foram emitidos em níveis intermediários pelo clone CCP 76 em comparação com EMBRAPA 51 e PRO 143/7. Além disso, alguns compostos (ocimeno e 2,6-dimetil-1,3,5,7-octatetraeno, (E, E) -) foram encontrados exclusivamente nas amostras de CCP 76. Os resultados sugerem que compostos voláteis do cajueiro podem ser fatores determinantes na escolha de plantas hospedeiras por *A. cocois* e que a suscetibilidade do clone CCP 76 a esse inseto pode estar associada à liberação de proporções apropriadas de compostos voláteis atrativos.

**Palavras-chave:** atratividade; mosca-branca-do-cajueiro; clones de cajueiro; semioquímicos.

**ABSTRACT**

In this paper we hypothesize that the attraction of the cashew whitefly, *Aleurodicus cocois*, depends on volatile emissions from cashew plants. To test this hypothesis, we determined the degree of *A. cocois* infestation in dwarf-cashew clones: CCP 76, EMBRAPA 51 and PRO 143/7 under field conditions, we evaluated the behavioral response of *A. cocois* adult females to plant volatiles of these clones in a 4-way olfactometer, and we characterized the volatile organic compounds released by each dwarf cashew clone by solid-phase microextraction and coupled gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Under field conditions, the highest degree of *A. cocois* infestation was found in EMBRAPA 51 while PRO 143/7 was the least infested clone. Bioassays revealed that volatile compounds of CCP 76 were attractive to *A. cocois* over clean air, while EMBRAPA 51 and PRO 143/7 volatiles were not attractive to whiteflies. The dwarf cashew clones released common volatile compounds that differed in quantity. According to the principal component analysis the compounds  $\alpha$ -pinene, myrcene, carene  $\delta$ -2, limonene,  $\alpha$ -copaene,  $\beta$ -caryophyllene,  $\beta$ -ocimene, allo-ocimene and neo-allo-ocimene were emitted at intermediate levels by clone CCP 76 compared to EMBRAPA 51 and PRO 143/7. Additionally, some compounds (o- cymene and 2,6-dimethyl-1,3,5,7-octatetraene, (*E, E*)-) were found exclusively in the samples of CCP 76. The results suggest that cashew volatile compounds may be determining factors in *A. cocois* choice of host plants and that the susceptibility of clone CCP 76 to this insect may be associated with the release of appropriate proportions of attractive volatile compounds.

**Key words:** attractiveness; cashew whitefly; cashew clones; semiochemicals.

## 2.1 Introdução

A mosca-branca do cajueiro, *Aleurodicus cocois* (Curtis) (Hemiptera: Aleyrodidae) é considerada uma praga-chave do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.), mas também ataca diversas espécies frutíferas, entre elas o abacateiro (*Persea americana* Mill.), manga (*Mangifera indica* Linn.), damasco (*Prunus armeniaca* Linn.), goiaba (*Psidium guajava* Linn.), romã (*Punica granatum* Linn.), maracujá (*Passiflora incarnata* Linn.) e algumas espécies ornamentais no Chile e no Peru (NÚÑEZ, 2008 ; NÚÑEZ; IANNACONE; GÓMEZ, 2008). No cajueiro, *A. cocois* coloniza a superfície abaxial das folhas, onde sua atividade alimentar causa danos que causam anormalidades no metabolismo da planta. Como dano indireto, *A. cocois* libera substâncias açucaradas que se depositam na superfície foliar dos cajueiros promovendo o desenvolvimento do fungo fuliginoso (*Capnodium* sp.), que compromete a fotossíntese da planta (GOIANA *et al.*, 2017).

A fim de reduzir os danos causados por *A. cocois*, pesticidas químicos sintéticos têm sido amplamente utilizados pelos produtores de caju. Pulverizações repetidas da mesma substância ativa química para controlar moscas-brancas em ambientes agrícolas podem promover a seleção de insetos resistentes (HOROWITZ; ISHAYA, 2014). Assim, novas abordagens para o manejo de *A. cocois* têm sido investigadas utilizando óleos essenciais de plantas (SARAIVA *et al.*, 2021), prospecção de ácaros predadores (ALFAIA *et al.*, 2018) e seleção de genótipos resistentes de cajueiro anão (GOIANA *et al.*, 2020).

A preferência das moscas-brancas por hospedeiros específicos pode variar dependendo da espécie vegetal, variedade, cultivar e até mesmo do acesso (BLEEKER *et al.*, 2009; DARSHANEE *et al.*, 2017 ; TU; QIN, 2017). Para *A. cocois*, os tricomas glandulares, estruturas presentes na epiderme das folhas do cajueiro-anão, conferem resistência a esse inseto (GOIANA *et al.*, 2020). Com base nessa característica, o clone de cajueiro PRO143/7 foi classificado como resistente a *A. cocois*, enquanto CCP 76 e EMBRAPA 51 são considerados suscetíveis ao inseto (GOIANA *et al.*, 2020). Além dos tricomas glandulares, também as características químicas devem ser investigadas, pois podem interferir na escolha das moscas-brancas mesmo sem a necessidade de estímulos táteis ou visuais das plantas (BLEEKER *et al.*, 2011).

As plantas produzem diferentes misturas de compostos voláteis, como monoterpenos, sesquiterpenos, aldeídos e voláteis de folhas verdes (RAJABASKAR *et al.*, 2013). Esses aleloquímicos permitem que a planta se comunique com o meio ambiente e, em um contexto evolutivo, são benéficos para a planta porque atraem polinizadores de flores e animais dispersores de sementes (PINTO-ZEVALLOS *et al.*, 2013). Embora as condições ambientais

ou fatores bióticos possam alterá-los, as taxas de emissão constituintes de compostos voláteis são controladas principalmente por fatores genéticos.

Estudos sobre o papel que compostos voláteis de plantas desempenham na seleção hospedeira de insetos herbívoros podem ser úteis em programas de melhoramento de plantas, auxiliando na identificação de cultivares de insetos-praga resistentes ou tolerantes (ROBBINS *et al.*, 2012). Bioensaios comportamentais destacaram que as moscas-brancas podem distinguir e selecionar plantas hospedeiras por meio de seus compostos voláteis (SCHLAEGER; PICKETT; BIRKETT, 2018). Além disso, a avaliação química de diversas plantas hospedeiras resistentes à mosca-branca permitiu a identificação de compostos voláteis responsáveis pelos efeitos repelentes contra esses insetos (BLEEKER *et al.*, 2009; DARSHANEE *et al.*, 2017; Tu; Qin, 2017).

Com base nessas informações, o presente estudo levanta a hipótese de que a atração de *A. cocois* depende das emissões voláteis dos cajueiros. Este trabalho avalia a infestação de mosca branca em três clones de cajueiro anão, a resposta comportamental de *A. cocois* aos compostos voláteis da planta e caracteriza os compostos orgânicos voláteis emitidos por clones de cajueiro anão.

## **2.2 Material e métodos**

### **2.2.1 Avaliação da infestação de mosca branca em clones de cajueiro anão**

O estudo foi conduzido no período de março de 2015 a fevereiro de 2016, no campo experimental da Embrapa Agroindústria Tropical (4°10'S e 38°28'; 79 m de altitude), localizado no município de Pacajus, Ceará, Brasil. A área experimental foi instalada em 2013 e consistiu de dois hectares plantados com clones de cajueiro-anão dispostos aleatoriamente no espaçamento de 8 mx 6 m. Práticas de manejo como adubação, poda, controle de ervas daninhas e pragas foram conduzidas de acordo com a recomendação para plantio comercial de cajueiro em condições de sequeiro (SERRANO; OLIVEIRA, 2013).

Foram avaliados três clones de cajueiro anão. A seleção foi baseada em testes preliminares de resistência de plantas a *A. cocois*: CCP 76 e EMBRAPA 51 são consideradas suscetíveis, e PRO 143/7 resistente à mosca-branca do cajueiro (GOIANA *et al.*, 2020). Para avaliar a ocorrência de *A. cocois*, três plantas de cada clone foram selecionadas e observadas mensalmente. O nível de infestação foi determinado usando uma escala de classificação, que foi usada para estimar o grau de infestação (BLEICHER; MELO; FURTADO, 1993). Foram avaliadas as folhas de quatro ramos, localizados na porção mediana de cada planta, e atribuídas

notas para cada ramo. Para a atribuição da nota por planta, foi calculada a média das notas dos quatro ramos.

Os escores variaram de zero a quatro de acordo com a colonização dos insetos: 0: sem infestação; 1: início da colonização; 2: folha com colônia em desenvolvimento; 3: folha completamente colonizada; 4: folha completamente colonizada e com a face superior escurecida devido à fumagina (BLEICHER; MELO; FURTADO, 1993). Posteriormente, os escores foram utilizados para a obtenção do grau de infestação (DI), calculado pela seguinte fórmula:  $DI = \sum (s*f) * 100/N*Z$ , onde s = valor do escore da escala de classificação (atribuída no campo), f = frequência das notas (dadas no campo), Z = valor numérico da pontuação máxima na escala e N = número total de plantas amostradas (BLEICHER; MELO; FURTADO, 1993).

### **2.2.2. Multiplicação de plantashospedeiras e criação de insetos**

As plantas utilizadas foram fornecidas pelo banco de germoplasma da Embrapa Agroindústria Tropical. Três clones de cajueiro anão foram estudados. A seleção foi baseada em testes preliminares de resistência de plantas a *A. cocois*: CCP 76 e EMBRAPA 51 são consideradas suscetíveis, e PRO 143/7 resistente à mosca-branca do cajueiro (GOIANA *et al.*, 2020). Todas as mudas de cajueiro foram enxertadas e cultivadas em tubetes contendo substrato de casca de arroz carbonizada (*Oryza sativa L.*), bagaço de carnaúba moído (*Coperniciaprunifera L.*) e solo hidromórfico (3: 2: 2). Os clones de cajueiro foram mantidos em casa de vegetação protegida com tela anti-inseto ( $27 \pm 1$  °C,  $70 \pm 10$  % UR e fotoperíodo de 12:12 L:D) para evitar danos causados por artrópodes e patógenos. As plantas foram utilizadas nos experimentos com idade aproximada de 120 dias (4 a 5 folhas totalmente desenvolvidas e 20 cm de altura).

Acolônia de *Aleurodicuscocois* foi estabelecida a partir de espécimes coletados no campo experimental da Embrapa Agroindústria Tropical (4°10' S; 38°28' W; 79 m de altitude) e multiplicada em mudas de cajueiro-anão (BRS 189) em casa de vegetação protegida ( $27 \pm 1$  °C,  $70 \pm 10$  % UR e fotoperíodo de 12:12 L:D). Apenas fêmeas adultas e virgens de *A. cocois* (24-48 h) foram utilizadas nos bioensaios. Para obter esses estágios de vida do inseto, folhas de cajueiro infestadas com ninfas de quarto ínstar foram coletadas da criação de gado e colocadas sobre espuma (14 cm de diâmetro e 1 cm de altura) saturada em água colocada em pratos plásticos (14 cm de diâmetro e 8 cm de altura). A metodologia foi adaptada de Togni *et al.* (2010) para *Bemisiatabaci*(Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae). Algodão umedecido foi disposto ao redor para manter a turgescência das folhas, e as placas plásticas foram cobertas

com tecido voile elástico band-aid. Em laboratório, após um período de 24 horas, foi possível obter insetos adultos recém-emergidos. Esses indivíduos foram sexados com base nas diferenças no abdômen, e as fêmeas foram transferidas para gaiolas (30 × 30 × 90 cm) com uma muda de cajueiro (BRS 189). A sexagem foi realizada dentro de 12 horas após a emergência para evitar o acasalamento entre os adultos.

### **2.2.3 Experimentos com olfatômetro**

Um olfatômetro de quatro braços (12 × 12 cm) (PETTERSSON, 1970) feito de acrílico foi usado para determinar as respostas comportamentais de *A. cocois* fêmeas aos voláteis dos clones de cajueiro anão. Os bioensaios foram realizados em condições controladas (27 ± 1 °C, 70 ± 5 % UR) em uma sala com quatro lâmpadas fluorescentes de 40 W (branca fria) no teto. Um braço do olfatômetro tratado (voláteis do cajueiro) foi comparado com três braços de controle (ar). Três séries de testes foram realizadas, comparando os voláteis constitutivos de cada clone (CCP 76, EMBRAPA 51 e PRO143/7) ao ar. Para fornecer as fontes de odor (voláteis), os brotos das mudas do clone de cajueiro foram individualizados em sacos de poliéster (100%, 27 cm x 41 cm), hermeticamente fechados no caule das plantas com fita adesiva. As bolsas foram conectadas ao olfatômetro por meio de mangueiras de silicone. O ar foi introduzido no sistema por meio de uma bomba de ar através de medidores de fluxo ajustados a 250 ml/min para cada braço do olfatômetro.

Para cada bioensaio, uma única fêmea adulta virgem de *A. cocois* (24-48 h), sem comida por 40 min, foi liberada através de um pequeno orifício na área central do olfatômetro. O inseto foi exposto aos voláteis por 10 min. Em cada bioensaio, o olfatômetro foi girado 90° para evitar um efeito posicional. A escolha feminina foi considerada quando ela cruzou uma linha traçada no ponto de ramificação dos quatro braços do olfatômetro. O número de entradas de *A. cocois* e o tempo gasto nos diferentes braços do olfatômetro foram registrados usando o software SOLF (Sistema para aquisição de dados em bioensaios de olfatometria) versão 2.0 (FANCELLI *et al.*, 2017). Vinte réplicas foram feitas para cada clone de cajueiro. Uma nova fêmea adulta foi utilizada para cada repetição. Ao final de cinco repetições, o olfatômetro foi limpo com detergente neutro, água destilada e álcool 70% e um cajueiro novo foi oferecido aos insetos.

### **2.2.4 Análise de voláteis do cajueiro por SPME-GC-MS**

A extração dos voláteis foi realizada por microextração em fase sólida pelo método HS-SPME (HeadspaceSolidPhaseMicroextraction) utilizando a fibra 50/30 DVB/Car/PDMS (Divinilbenzeno/Carboxen/Polidimetilsiloxano) de 1 cm. A fibra foi exposta ao headspace do

frasco contendo aproximadamente 1 g de amostra de folha a 30 °C por 15 min após o período de estabilização conduzido a 30 °C por 30 min. Para cada clone de cajueiro (CCP 76, EMBRAPA 51 e PRO 143/7) foram utilizadas quatro repetições (plantas) para retirada de amostras. A análise acoplada de GC-MS (cromatografia gasosa-espectrometria de massa) foi realizada em um instrumento Agilent modelo GC-7890B/MSD-5977 A (quadrupolo) com impacto de elétrons a 70 eV, coluna de metilpolisiloxano HP-5MS (30 mx 0,25 mm x 0,25 µm, Agilent), gás de arraste hélio com 1,00 mL.min<sup>-1</sup>(7,1 psi) e velocidade linear constante de 36,3 cm.s<sup>-1</sup>, temperatura do injetor 260 °C, temperatura do detector 150 °C, temperatura da linha de transferência 280 °C. Programação do forno cromatográfico: temperatura inicial de 40 °C, com rampa de aquecimento de 7 °C.min<sup>-1</sup> a 260 °C por 5 min ao final da corrida. A identificação dos compostos foi realizada por meio da análise dos padrões de fragmentação exibidos no espectro de massas com aqueles presentes no banco de dados fornecido pelo equipamento (NIST versão 2.0 de 2012-243.893 compostos) e a partir de dados da literatura.

### 2.2.5 Análise estatística

O grau de infestação foi verificado quanto à normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e, em seguida, submetido à análise de variância com médias comparadas pelo teste HSD de Tukey. Os dados do número de entradas de *A. cocois* foram transformados em porcentagem e depois comparados pelo teste  $\chi^2$  ( $\alpha = 0,05$ ) com fração esperada de 25% para as extremidades com a parte da planta sob teste (MELO *et al.*, 2014). Os dados sobre o período de residência, ou seja, o tempo gasto em minutos por *A. cocois* nos braços de tratamento e controle, foram submetidos a testes T pareados ( $P < 0,05$ ) (TOGNI *et al.*, 2010; HEGDE *et al.*, 2011). Assim, o tempo de residência nos braços de controle foi obtido como um valor médio. Insetos não responsivos, aqueles que permaneceram mais de 2 minutos na área central do olfatômetro e aqueles que permaneceram inativos (sem demonstrar andar) foram excluídos das análises.

Diferentes testes estatísticos foram usados para comparar as porcentagens relativas de compostos voláteis nos clones de cajueiro-anão. Para comparar os compostos, presentes nos três clones, a normalidade dos resíduos foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, as diferenças entre os clones foram detectadas pelo teste F e a comparação das médias pelo teste de Tukey. Na ausência de normalidade dos resíduos, foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis seguido do post-hoc DSCF (Dwass-Steel-Critchlow-Fligner), através do procedimento NPAR1WAY. Para os compostos presentes em dois clones, a suposição de normalidade dos dados de cada genótipo foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, as médias foram comparadas pelo teste t de Student, do método Pooled ou Satterthwaite considerando variância igual ou

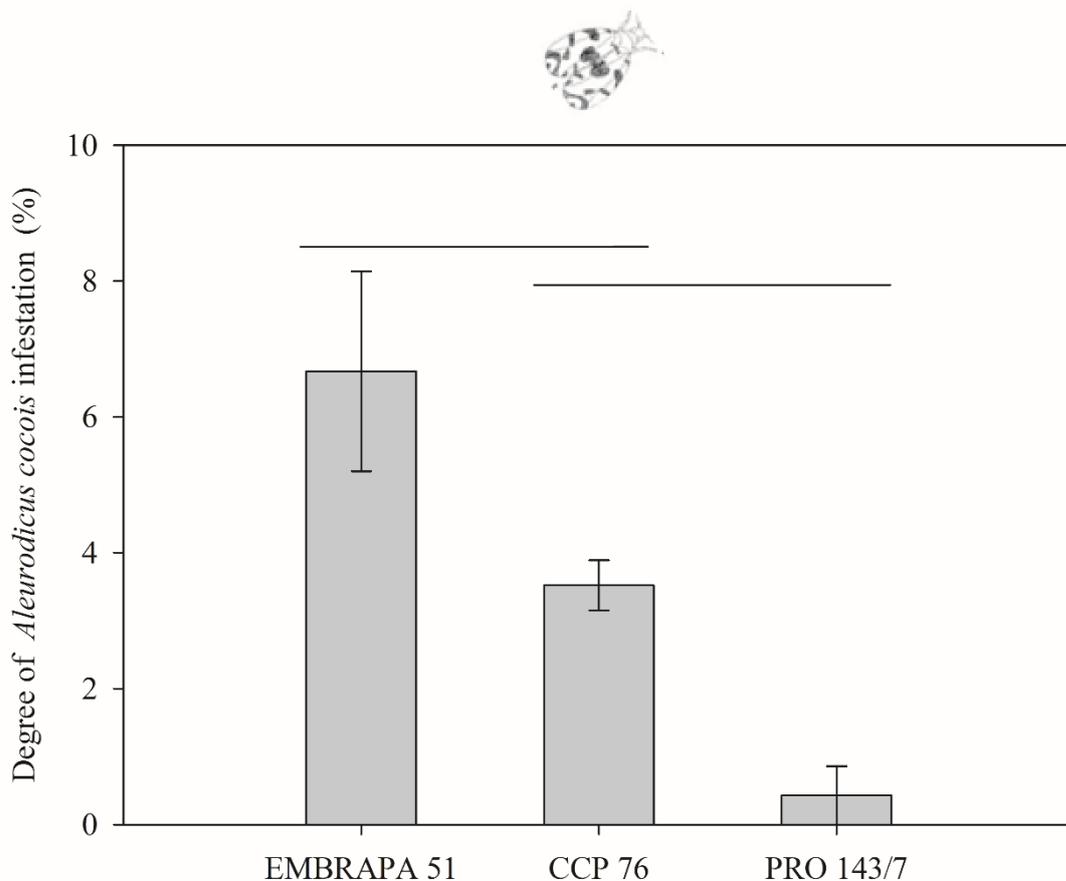
diferente, respectivamente, através do procedimento TTEST. Quando pelo menos um dos clones não apresentou distribuição normal dos dados, a diferença das médias foi verificada pelo teste exato de Wilcoxon através do procedimento NPAR1WAY. Todas as análises foram realizadas usando o software estatístico SAS (SAS INSTITUTE, 2018).

Um método quimiométrico não supervisionado pela Análise de Componentes Principais (PCA) foi aplicado a conjuntos de dados GC-MS de clones de caju para verificar a variabilidade natural da liberação de compostos voláteis. Para a construção da matriz numérica, cada cromatograma foi convertido para o arquivo American Standard Code for InformationInterchange (ASCII) e importado pelo programa Origin™ (versão 9.4) e exportado para o programa PLS-Toolbox™ (versão 8.6.2, EigenvectorResearchIncorporated, Manson, WA, EUA). As avaliações de PCA foram desenvolvidas com base nos dados médios centralizados após correção da linha de base e processamento de normalização aplicados aos cromatogramas, e o algoritmo SVD (Singular ValueDecomposition) foi aplicado para decompor a matriz original em pontuações, cargas e erros (influência da modelagem da amostra).

## **2.3 Resultados**

### ***2.3.1 Avaliação da infestação de mosca branca em clones de cajueiro anão***

Os resultados obtidos em condições de campo mostraram diferenças significativas entre os clones de cajueiro-anão quanto ao grau de infestação por *A. cocois* ( $P=0,008$ ) (Fig. 1 ). O maior grau de infestação por *A. cocois* foi encontrado no EMBRAPA 51 seguido pelo CCP 76, enquanto PRO 143/7 foi o clone menos infestado (Figura 1).

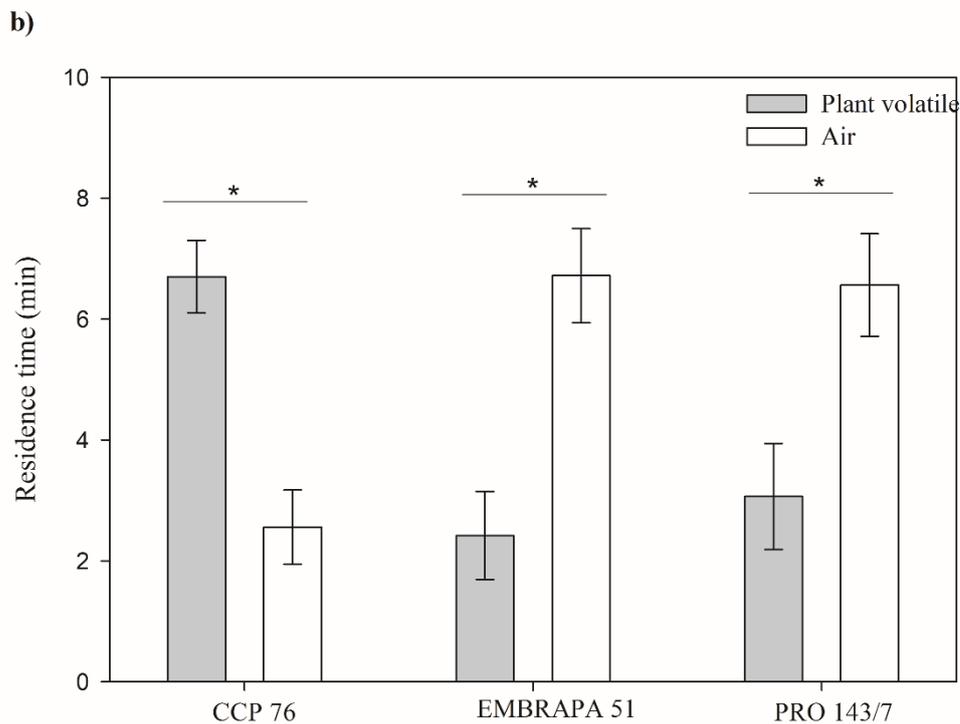
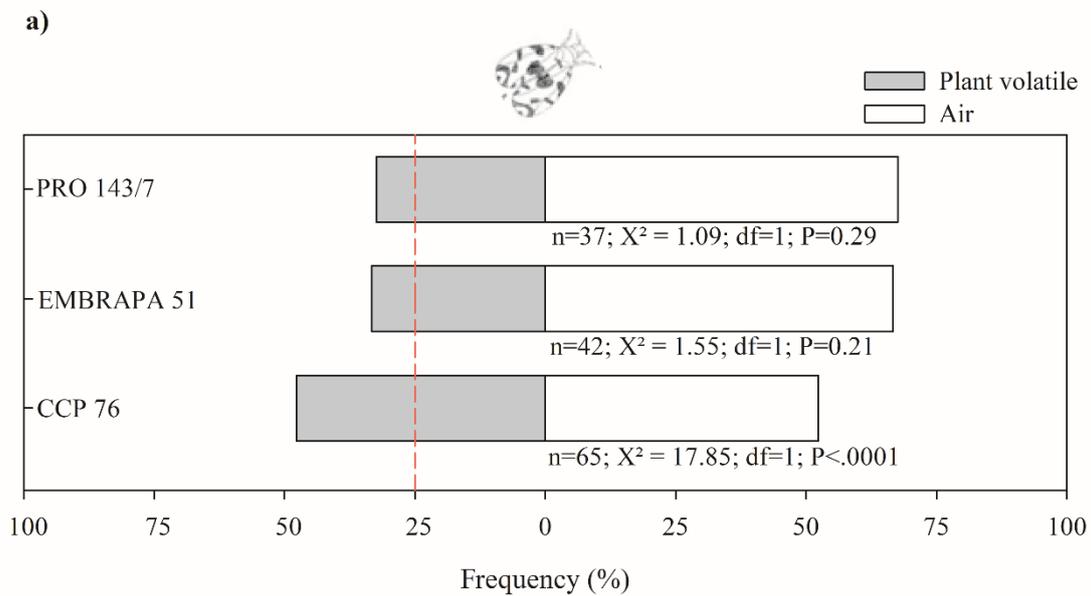


**Figura 1.** Grau de infestação de *Aleurodicuscocois* ( $\pm$  erro padrão) em clones de cajueiro-anão. Barras agrupadas pela mesma linha horizontal não diferem de acordo com o teste HSD de Tukey ( $P > 0,05$ ).

### 2.3.2. Experimentos com olfatômetro

*Aleurodicuscocois* exposto aos voláteis dos clones de cajueiro anão apresentou diferentes padrões de resposta. A frequência de fêmeas de *A.cocois* foi significativamente maior no braço do olfatômetro contendo voláteis CCP 76 em comparação com os braços de controle (ar) ( $\chi^2=17,85$ ;  $df=1$ ;  $P<0,001$ ) (Figura 2 A). No entanto, para os outros clones hospedeiros, não houve diferenças significativas na frequência entre os braços tratado e controle (ar) (EMBRAPA 51;  $\chi^2=1,55$ ;  $df=1$ ;  $P = 0,21$  e PRO 143/7  $\chi^2=1,09$ ,  $df=1$ ,  $P=0,29$ , respectivamente) (Figura 2 A). Ao comparar o tempo de residência, *A. cocois* gastou significativamente mais tempo no braço contendo CCP 76 voláteis do que nos braços de controle ( $t=-4,87$ ;  $df=38$ ;  $P<0,0001$ ) (Fig. 2b). Em contraste, o tempo de residência do inseto foi significativamente maior nos braços contendo ar fresco (controle) em comparação aos

braços tratados com os voláteis dos clones EMBRAPA 51 ( $t=3,93$ ;  $df=38$ ;  $P=0,0003$ ) e PRO 143/7 ( $t=2,79$ ;  $df=38$ ;  $P=0,008$ ) (Fig. 2b).



**Figura 2.** Frequência (número de entradas em percentual, (A) e tempo de residência (B) ( $\pm$  erro padrão) para fêmeas de *A. cocois* nos braços do olfatômetro tratados (compostos voláteis de cajueiros) e controle (ar). A linha tracejada (A) representa a fração esperada para o braço com folhas de cajueiro voláteis (25%), hipótese nula.

### 2.3.3 Análise volátil do cajueiro por SPME-GC-MS

Um total de 23 compostos voláteis foram identificados nos clones de cajueiro, incluindo monoterpenos e sesquiterpenos (Tabela 1). O maior número de compostos foi identificado no EMBRAPA 51, seguido do CCP 76, enquanto o PRO 143/7 emitiu menos voláteis (Tabela 1). Análises químicas univariadas dos voláteis liberados pelos três clones de cajueiro não revelaram diferenças quantitativas significativas nos seguintes compostos: mirceno, careno  $\delta$ -2, limoneno,  $\beta$ -ocimeno,  $\alpha$ -copaeno e  $\beta$ -cariofileno (Tabela 1). Diferenças qualitativas também foram encontradas, uma vez que os compostos careno  $\delta$ -3,  $\gamma$ -terpineno, terpinoleno e  $\alpha$ -muuroleno foram liberados apenas pelo clone EMBRAPA 51 e os compostos o-cimeno e 2,6-dimetil-1,3,5,7-octatetraeno, (E, E)- apenas pelo clone CCP 76 (Tabela 1).

A análise exploratória multivariada de compostos voláteis liberados de diferentes clones de cajueiro foi relevante para avaliar a variabilidade amostral. A análise multivariada também apresentou a relação entre as variáveis (compostas) e as amostras, que não são alcançadas por uma análise univariada. A Figura 3a ilustra as pontuações bidimensionais (PC1×PC2) e a Fig. 3b exibe as cargas relevantes. A avaliação quimiométrica destacou uma variação significativa entre os compostos voláteis liberados pelos diferentes clones de cajueiro, com PRO 143/7 em PC1 pontuações positivas para maiores quantidades de  $\beta$ -ocimeno, alo-ocimeno e neo-alo-ocimeno (Fig. 3a, b).

Por outro lado, nos escores negativos do mesmo PC, está o clone EMBRAPA 51, que liberou maiores quantidades de  $\alpha$ -pineno, mirceno, careno  $\delta$ -2, careno  $\delta$ -3, limoneno, terpinoleno,  $\alpha$ -copaeno e  $\beta$ -cariofileno (Fig. 3a, b). Em geral, em escores nulos de PC1 localizam-se amostras do clone CCP 76 por quantidades intermediárias de  $\alpha$ -pineno, mirceno, careno  $\delta$ -2, limoneno,  $\alpha$ -copaeno,  $\beta$ -cariofileno,  $\beta$ -ocimeno, alo-ocimeno e neo-alo-ocimeno (Fig. 3a, b). A análise univariada apresentou variações irrelevantes de  $\alpha$ -pineno, neo-alo-ocimeno e alo-ocimeno (Tabela 1) entre as amostras, apesar de sua contribuição na análise estatística multivariada (fig. 3).

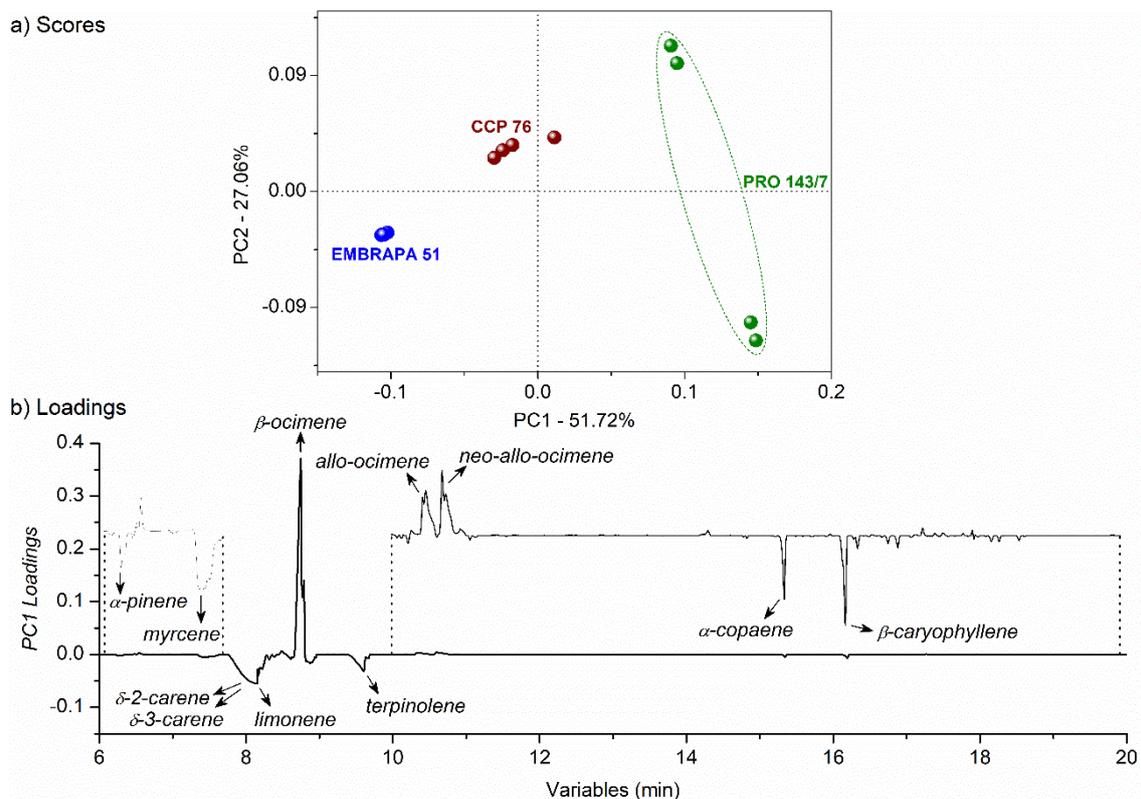
**TABELA 1** Composição volátil (porcentagem relativa; média  $\pm$  erro padrão) de três clones de cajueiro-anão em duas classes de compostos (Monoterpeno e Sesquiterpeno)

IR <sub>calc</sub> <sup>a</sup>	IR <sub>lit</sub> <sup>b</sup>	Composto	Clones			P-value
			EMBRAPA 51	CCP 76	PRO 143/7	
Monoterpeno						
937	932	$\alpha$ - pineno	0.69 + 0.19	1.49 + 0.49	0.44 + 0.19	0.088 <sup>(1)</sup>
992	990	myrceno	4.01 + 1.01 a	0.36 + 0,08 b	-	0.029 <sup>(4)</sup>
1007	1001	careno $\delta$ -2	67.38 + 1.74 a	0.19 + 0.08 b	-	< 0.001 <sup>(3)</sup>
1019	1008	careno $\delta$ -3	1.67 + 0.04	-	-	-
1022	1027	o- cymeno	-	0.08 + 0.05	-	-
1032	1024	limoneno	1.66 + 0.06 a	0.62 + 0.23 b	-	0.029 <sup>(4)</sup>
1040	1032	cis- $\beta$ -ocimeno	0.61 + 0.47	0.45 + 0.45	1.03 + 0.31	0.303 <sup>(2)</sup>
1054	1044	$\beta$ -ocimeno	1.69 + 0.53 b	90.29 + 2.93 a	92.95 + 1.10 a	< 0.001 <sup>(1)</sup>
1065	1054	$\gamma$ - terpineno	0.68 + 0.03	-	-	-
1099	1086	terpinoleno	16.33 + 0.46	-	-	-
1131	1128	allo-ocimeno	-	0.54 + 0.05	0.40 + 0.40	0.314 <sup>(3)</sup>
1135	1134	2,6-Dimethyl-1,3,5,7-octatetraene, ( <i>E, E</i> )-	-	0.41 + 0.01	-	-
1144	1140	neo-allo-ocimeno	-	0.97 + 0.09	0.49 + 0.49	0.314 <sup>(4)</sup>
Sesquiterpene						
1383	1374	$\alpha$ - copaeno	0.85 + 0.01 a	0.15 + 0.01 b	0.06 + 0.03 b	< 0,001 <sup>(1)</sup>
1429	1417	$\beta$ - caryophylleno	1.41 + 0.20 a	0.55 + 0.10 b	0.34 + 0.07 b	< 0,001 <sup>(1)</sup>
1440	1434	$\gamma$ - elemeno	0.15 + 0.06	0.06 + 0.04	-	0.255 <sup>(4)</sup>
1464	1452	$\alpha$ - humuleno	0.09 + 0.03	-	-	-
1471	1460	deydro- aromadendrano	0.12 + 0.04	-	-	-
1484	1478	$\gamma$ -muuroleno	0.08 + 0.05	0.19 + 0.02	0.13 + 0.04	0.202 <sup>(1)</sup>
1490	1480	germacreno D	0.06 + 0.04	0.06 + 0.04	0.14 + 0.05	0.399 <sup>(1)</sup>
1505	1500	$\alpha$ - muuroleno	0.12 + 0.08	-	-	-
1511	1509	$\alpha$ - bulneseno	-	0.06 + 0.03	0.14 + 0.08	0.401 <sup>(3)</sup>
1532	1533	$\delta$ - cadineno	0.22 + 0.04	0.21 + 0.02	0.23 + 0.05	0.938 <sup>(1)</sup>

As médias seguidas pela mesma letra na linha são iguais ( $P > 0,05$ )

<sup>(1)</sup> Valores de P do teste F e comparação de médias pelo teste de Tukey quando significativo ( $P < 0,05$ )

- (2) Valores de P do teste de Kruskal-Wallis e comparação das médias pelo teste DSCF quando significativo ( $P < 0,05$ )
- (3) Valores P do teste T
- (4) Valores P do teste exato de Wilcoxon
- (a) Índice de retenção calculado
- (b) Índice de retenção da literatura (Adams, 2007 )



**FIGURA 3.** (a) Sistema de coordenadas 2D de pontuação VOC (PC1×PC2) liberado por diferentes clones de cajueiro; (b) cargas relevantes traçadas como linhas.

## 2.4. Discussão

Os resultados de campo demonstraram que EMBRAPA 51 seguido de CCP 76 são mais susceptíveis à infestação por *A. cocois* em comparação com PRO 143/7, conforme observado em ensaios preliminares de laboratório (GOIANA *et al.*, 2020). Pode ocorrer a preferência de *A. cocois* por um determinado clone de cajueiro anão em detrimento de outros, sendo que maior número de tricomas glandulares e maior acúmulo de compostos fenólicos nas folhas da planta são fatores que interferem na oviposição do inseto (GOIANA *et al.*, 2020). Embora possa impedir a oviposição, a ocorrência de fêmeas adultas de *A. cocois* em folhas de cajueiro-anão não se correlacionou negativamente com a densidade de tricomas glandulares (GOIANA *et al.*, 2020). Portanto, é razoável supor que a orientação dos adultos de *A. cocois* para os cajueiros anões esteja relacionada a outros estímulos, como compostos voláteis.

As plantas produzem compostos voláteis e, embora suas funções permaneçam obscuras, essas substâncias desempenham um papel essencial na seleção de hospedeiros por insetos herbívoros, entre eles os Aleyrodidae (BLEEKER *et al.*, 2009; SACCHETTI *et al.*, 2015; DARSHANEE *et al.*, 2017; TU; QIN, 2017). Várias espécies de mosca-branca, incluindo *B. tabaci*, *Aleurodicus dispersus* Russell (Hemiptera: Aleyrodidae) e *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Hemiptera: Aleyrodidae), podem ser guiadas por sinais voláteis da planta, e esses compostos podem induzir a rejeição ou aceitação de um hospedeiro potencial pelo inseto (BLEEKER *et al.*, 2009; ZHENG; WU; FU, 2014; SACCHETTI *et al.*, 2015; DARSHANEE *et al.*, 2017; TU; QIN, 2017). No presente trabalho, *A. cocois* preferiu os voláteis CCP 76 aos demais clones de cajueiro. Portanto, a suscetibilidade do CCP 76 pode ser devida à liberação de compostos voláteis atrativos para o inseto.

As plantas produzem diferentes misturas de compostos voláteis que podem variar entre cultivares (DARSHANEE *et al.*, 2017), variedades (TU; QIN, 2017) e até acessos (BLEEKER *et al.*, 2009). Neste estudo, embora diferentes clones de cajueiro possam emitir compostos voláteis comuns, eles diferem em quantidade, o que parece explicar as diferenças de padrões de escolha observadas em *A. cocois*. Por exemplo, os compostos considerados primários para separar as amostras dos três clones de cajueiro, foram liberados apenas em concentrações intermediárias pelo CCP 76:  $\alpha$ -pineno, mirceno,  $\delta$ -2-careno, limoneno,  $\beta$ -ocimeno,  $\alpha$ -copaeno,  $\beta$ -cariofileno, alo-ocimeno e neo-alo-ocimeno. Portanto, a atratividade de (*A. cocois*) voláteis deste clone pode ser o resultado da mistura destes compostos em proporções adequadas. A seleção de plantas por insetos herbívoros nem sempre é resultado de um composto volátil significativo, mas sim de misturas complexas (BRUCE; BPICKETT, 2011). A relação entre os componentes dessa mistura é a fonte crítica para o inseto escolher o hospedeiro mais adequado (BRUCE; BPICKETT, 2011). Níveis aumentados de componentes específicos podem atrapalhar a atração pela planta hospedeira, e concentrações intermediárias podem ser críticas na resposta de insetos a terpenóides voláteis. Por exemplo, concentrações intermediárias de limoneno (0,002-0,004 ppm) e  $\beta$ -cariofileno (0,017-0,025 ppm) foram altamente atrativas para (*B. tabaci*), enquanto baixas (0,00008 ppm de limoneno, 0,002 ppm de  $\beta$ -cariofileno) e altas (0,05 ppm) concentrações de ambos os compostos eram pouco atraentes e repelentes de insetos, respectivamente (SADEH *et al.*, 2017). Além disso, doses intermediárias de  $\beta$ -ocimeno (12,5-25  $\mu$ l) misturadas com outros compostos (cis- $\beta$ -ocimeno e alo-ocimeno) atraíram a formiga predadora *Oecophylla longinoda* (Latreille) (Hymenoptera: Formicidae), enquanto baixas (6,25  $\mu$ l) e altas doses (50  $\mu$ l) reduziram a resposta do inseto

(WANJIKU *et al.*, 2014). Além disso, fêmeas da mosca-branca *A. dispersus* foram atraídas por doses intermediárias do volátil ( $\pm$ )-2-hexanol (0,1-10  $\mu$ l/ml) e irresponsivas quando expostas a baixas (0,05  $\mu$ l/ml) e altas (20-50  $\mu$ l/ml) doses deste composto (ZHENG; WU; FU, 2014). Além de misturas e proporções específicas, compostos minoritários também influenciam a seleção de plantas hospedeiras por insetos herbívoros, principalmente devido à sensibilidade de seus sistemas olfativos em resposta a essas substâncias (CLAVIJO; GERSHENZON; UNSICKER, 2014). Portanto, ressaltamos que os compostos o-cimeno e 2,6-dimetil-1,3,5,7-octatetraeno, (*E, E*)-, liberados exclusivamente por plantas do CCP 76, podem ter contribuído para a atratividade de *A. cocois*, por serem monoterpenos comuns em misturas voláteis atrativas para insetos (EL-SAYED *et al.*, 2008; BACKER *et al.*, 2015; FERNANDES *et al.*, 2019; ABDULLAH *et al.*, 2020).

EMBRAPA 51 foi o único clone caracterizado por altos teores de  $\alpha$ -pineno, mirceno, careno  $\delta$ -2, careno  $\delta$ -3, limoneno, terpinoleno,  $\alpha$ -copaeno e  $\beta$ -cariofileno em sua constituição volátil (análise PCA). A baixa atratividade de *A. cocois* aos voláteis deste clone pode estar relacionada a compostos específicos, como o limoneno, mirceno,  $\alpha$ -copaeno e  $\beta$ -cariofileno, que são considerados repelentes para mosca-branca em concentrações elevadas (LI *et al.*, 2014; SAADE *et al.*, 2015; DU *et al.*, 2016; SHI *et al.*, 2016; SADEH *et al.*, 2017; TU; QIN, 2017). Embora os voláteis produzidos pela EMBRAPA 51 não tenham sido atrativos para *A. cocois*, este clone apresentou as maiores infestações de insetos na condição de campo. Sugerimos que, embora poucos adultos de *A. cocois* sejam capazes de localizar as plantas EMBRAPA 51 para pistas voláteis, ao pousar nas folhas da planta esses insetos encontram condições adequadas para o estabelecimento da população e uma rápida colonização. Essa hipótese é corroborada por estudos anteriores desenvolvidos por Goiana *et al.* (2020), nos quais verificaram que esse clone é suscetível à oviposição de *A. cocois*, principalmente devido à baixa densidade de tricomas glandulares em suas folhas. Além disso, o EMBRAPA 51 demonstrou ser um hospedeiro favorável para o desenvolvimento biológico de *A. cocois*, pois mais de 70% dos adultos emergiram de ovos depositados nas folhas desse clone (GOIANA *et al.*, 2020). Isso também pode explicar a menor infestação de CCP 76 em comparação com a EMBRAPA 51 no campo. Embora o clone CCP 76 tenha se mostrado atraente, ele prejudica o desenvolvimento de *A. cocois* e apenas 56% dos adultos emergem dos ovos postos neste clone (GOIANA *et al.*, 2020). Na verdade, os estímulos olfativos são cruciais para orientar as moscas-brancas para as plantas em longas distâncias. No entanto, no comportamento pós-pouso, as características morfológicas e químicas desempenham um papel importante na seleção da planta hospedeira (BLEEKER *et al.*, 2009).

Os perfis voláteis liberados por plantas menos atraentes podem ser caracterizados por uma proporção inadequada de certos compostos ou pela ausência de compostos específicos que são particularmente importantes na atração de insetos (KERGUNTEUIL *et al.*, 2015). Isso pode explicar a não atratividade dos voláteis do PRO 143/7 para *(A) cocoise* menor infestação de campo, pois as plantas desse clone liberaram menor número de mono e sesquiterpenos. Além disso, a análise de PCA indicou que o clone PRO 143/7 diferiu dos demais por emitir maiores quantidades de  $\beta$ -ocimeno, alo-ocimeno e neo-alo-ocimeno. Poucos estudos esclareceram o papel dos terpenoides alo-ocimeno e neo-alo-ocimeno no comportamento de forrageamento de artrópodes, mas vários estudos afirmam que o  $\beta$ -ocimeno pode causar estímulos que variam de repelência ou atratividade (TU; QIN, 2017; FANet *al.*, 2013; WANJIKU *et al.*, 2014). Este composto é comumente encontrado em altas concentrações na constituição volátil de variedades de aipo consideradas repelentes à mosca-branca (*B) tabaci*) (TU; QIN, 2017). No mesmo artigo, aplicações isoladas de  $\beta$ -ocimeno demonstraram efeito repelente contra *B. tabaci*, especialmente em altas concentrações. Além disso, altas concentrações de  $\beta$ -ocimeno repeliram o besouro asiático *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) (Coleoptera: Cerambycidae) (FANet *al.*, 2013). Portanto, a alta concentração de  $\beta$ -ocimeno emitida pelas plantas do PRO 143/7 pode ter contribuído para a não atratividade dos voláteis desse clone e consequente deterrência de *A. cocois* no campo. Nossos resultados concordam com GOIANA *et al.* (2020), que relataram baixa taxa de colonização e oviposição de *A. cocois* no clone PRO 143/7. Além disso, este clone possui alta densidade de tricomas glandulares e altas taxas de compostos fenólicos em suas folhas (GOIANA *et al.*, 2020) e apresentou antibiose para *A. cocois* (GOIANA *et al.*, 2020). Assim, há evidências de que seleções de material genético obtidas do clone PRO 143/7 podem contribuir para programas de melhoramento de cajueiros que ofereçam resistência a *A. cocois*.

## 2.5 Conclusões

Diante do exposto, este experimento conclui que os clones de cajueiro anão EMBRAPA 51 e CCP 76 são mais susceptíveis à infestação de *A. cocois* em relação ao PRO 143/7, em condição de campo. Os resultados também indicam que os compostos voláteis constituintes do cajueiro são fatores primordiais na escolha de plantas hospedeiras por *A. cocois*. Os clones PRO 143/7 e EMBRAPA 51 foram considerados pouco atraentes. O clone CCP 76 pode ser atraente e, portanto, suscetível a *A. cocois* por apresentar misturas dos compostos voláteis  $\alpha$ -pineno, mirceno, careno  $\delta$ -2, limoneno,  $\alpha$ -copaeno,  $\beta$ -cariofileno,  $\beta$ -ocimeno, alo-ocimeno e neo-alo-ocimeno em proporções adequadas e para liberação de compostos exclusivos como, o-cimeno

e 2,6-dimetil-1,3,5,7-octatetraeno, (*E, E*) -. Apesar das evidências, novos estudos futuros, como bioensaios com compostos isolados em diferentes concentrações e testes eletroantegráficos, devem ser conduzidos para entender o sinergismo ou antagonismo de compostos voláteis específicos na atratividade ou resposta de repelência de *A. cocois*.

**3 CAPÍTULO 2 - *Chrysoperla externa*(NEUROPTERA: CHRYSOPIDAE) É UM BOM CANDIDATO NA PREDACÃO DE *Aleurodicuscocois*(CURTIS, 1846) (HEMIPTERA: ALEYRODIDAE) NA CULTURA DO CAJUEIRO**

## RESUMO

Uma alternativa potencial ao uso de produtos químicos para o controle de artrópodes fitófagos em ambientes agrícolas é o uso de agentes de controle biológico de ocorrência natural. Este estudo avaliou a resposta funcional de larvas de primeiro ínstar de *Chrysoperla externa* alimentadas com ovos e ninfas de *Aleurodicus cocois*, bem como a resposta olfativa de

larvas de terceiro ínstar desse predador aos voláteis de dois genótipos (CCP 76 e PRO 143 /7) de cajueiro-anão induzido pela herbivoria de *A. cocois*. Os compostos voláteis emitidos pelas folhas dos dois genótipos de cajueiro, infestados e não infestados por *A. cocois*, foram analisados por microextração em fase sólida acoplada a GC-MS. A regressão logística indicou que larvas de primeiro ínstar de *C. externa* exibiu uma resposta tipo II quando alimentada com ovos e ninfas de *A. cocois*. O valor da taxa de ataque ( $a'$ ) não diferiu entre as presas, mas o tempo de manejo ( $Th$ ) foi maior quando o predador se alimentou de ninfas. Nos testes comportamentais larvas de terceiro ínstar de *C. externa* foram capazes de distinguir e selecionar os sinais voláteis emitidos após a infestação de *A. cocois*, independentemente do genótipo de cajueiro avaliado. De acordo com os perfis voláteis de genótipos de cajueiro infestados por *A. cocois*, os compostos  $\beta$ -cariofileno, *alo*-ocimeno, neo-*alo*-ocimeno,  $\alpha$ -copaeno,  $\gamma$ -muuroleno e  $\delta$ -cadineno foram liberados em grandes quantidades pelos genótipos CCP 76 e PRO 143/7. Portanto, esses compostos podem estar envolvidos na atratividade do predador. Os resultados indicam que *C. externa* pode ser um agente de biocontrole eficaz de *A. cocois* na cultura do cajueiro.

**Palavras-chave:** inimigo natural, predação, herbivoria, semioquímicos.

## ABSTRACT

A potential alternative to the use of chemicals for controlling phytophagous arthropods in agricultural environments is the use of biological control agents of natural occurrence. This study evaluated the functional response of first-instar larvae of *Chrysoperla externa*-fed eggs and nymphs of *Aleurodicuscocois*, as well as the olfactory response of the third-instar larvae of

this predator to the volatiles of two genotypes (CCP 76 and PRO 143/7) of dwarf cashew induced by the herbivory of *A. cocois*. The volatile compounds emitted by the leaves of the two cashew genotypes, infested and non-infested by *A. cocois*, were analyzed by solid-phase microextraction coupled to GC–MS. Logistic regression indicated that first-instar larvae of *C. externa* exhibited a type II response when fed eggs and nymphs of *A. cocois*. The value of the attack rate ( $a'$ ) did not differ between prey, but the handling time ( $Th$ ) was longer when the predator fed on nymphs. In the behavioral tests third-instar larvae of *C. externa* were able to distinguish and select the volatile signals emitted after the infestation of *A. cocois*, regardless of the cashew genotype evaluated. According to the volatile profiles of cashew genotypes infested by *A. cocois*, the compounds  $\beta$ -caryophyllene, *allo*-ocimene, neo-*allo*-ocimene,  $\alpha$ -copaene,  $\gamma$ -muurolene, and  $\delta$ -cadinene were released in large amounts by genotypes CCP 76 and PRO 143/7. Therefore, these compounds may be involved in the attractiveness of the predator. The results indicate that *C. externa* may be an effective biocontrol agent of *A. cocois* in cashew crop.

**Keywords:** natural enemy, predation, herbivory, semiochemicals.

### 3.1 Introdução

A mosca-branca, *Aleurodicuscocois* (Curtis, 1846) (Hemiptera: Aleyrodidae), é considerada uma importante praga por possuir uma ampla gama de hospedeiros, incluindo espécies de plantas ornamentais e frutíferas da América Latina (NÚÑEZ, 2008; GOIANA *et al.*, 2017). No Brasil, *A. cocois* é uma das principais pragas do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) (GOIANA *et al.* 2017), ocorrendo em surtos intensos, que causam

perdas significativas na produtividade (CASTRO; SIQUEIRA, 2006). Isso se deve ao seu dano, pois ao se alimentar da seiva do floema, *A. cocois* pode inocular toxinas dando origem a anomalias ou distúrbios fitotóxicos caracterizados por murcha e amarelecimento de folhas e ramos. Além disso, indiretamente, *A. cocois* libera substâncias açucaradas na superfície da folha do cajueiro, o que promove o desenvolvimento de fuliginosos (*Capnodium* sp.) que comprometem a fotossíntese da planta (GOIANA *et al.*, 2017).

No Brasil, o controle químico é o único método recomendado para suprimir as populações de *A. cocois* na cultura do cajueiro. No entanto, existem apenas dois produtos comerciais registrados contra esta praga no país (AGROFIT, 2022). A escassez de produtos aliada à severidade da praga pode ser um problema para os produtores de caju, pois sabe-se que repetidas pulverizações da mesma molécula química para controle de mosca-branca em ambientes agrícolas levam à seleção de insetos resistentes (HOROWITZ; ISHAAYA, 2014). Portanto, novas alternativas de manejo para *A. cocois* merecem ser investigadas.

Uma alternativa para o controle de *A. cocois* é o uso de agentes de controle biológico de ocorrência natural. Chrysopidae (Neuroptera: Chrysopidae) são eficientes predadores de artrópodes fitófagos em ambientes agrícolas (ALBUQUERQUE; TAUBER; TAUBER, 2001). Dentre as espécies, *Chrysoperla externa* (HAGEN, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) foi encontrada forrageando folhas de cajueiro-anão associado a colônias de *A. cocois* (GOIANA *et al.*, 2017; SARAIVA *et al.*, 2021). Esse predador é considerado adequado para uso em programas de controle biológico em regiões tropicais, devido à sua adaptação às condições ambientais e, também, pela facilidade de criação massal (ALBUQUERQUE; TAUBER; TAUBER, 2001). Embora *C. externa* seja considerada um inimigo natural em potencial por completar seu ciclo de vida alimentando-se de ovos, ninfas e adultos de *A. cocois* (MONTEIRO *et al.*, 2021), estudos com o objetivo de entender melhor suas taxas de predação sobre *A. cocois* são necessários.

O potencial de inimigos naturais como agentes de controle biológico é comumente medido por meio de estudos de resposta funcional (JUMBO *et al.*, 2019). A resposta funcional mede, por exemplo, a taxa de predação em função da densidade da presa (HOLLING 1959, 1966) e pode ser influenciada por vários fatores, incluindo condições ambientais, resíduos de pesticidas ou diferenças de tamanho entre predadores e presas (LAWS, 2017; JUMBO *et al.*, 2019; TEODORO *et al.*, 2020). Embora os testes de predação sejam úteis, eles devem ser integrados com avaliações comportamentais mediadas por odores

ao escolher um inimigo natural eficaz, pois o comportamento de busca da presa é amplamente guiado por pistas químicas (LEMANet al., 2019; SOUSAet al., 2020).

Mudanças no perfil orgânico volátil das plantas geralmente são detectadas após eventos de infestação de insetos. Essas alterações resultam de danos infligidos durante a alimentação e/ou oviposição nas folhas das plantas (NIEDERBACHER; WINKLER; SCHNITZLER, 2015). Esses voláteis vegetais induzidos por herbívoros (HIPVs) podem atuar como um mecanismo de defesa indireto para as plantas, pois fornecem pistas importantes para os inimigos naturais localizarem suas presas ou hospedeiros (PINTO-ZEVALLOS et al., 2013; NIEDERBACHER; WINKLER; SCHNITZLER, 2015). De fato, larvas e adultos de *C. externa* são capazes de localizar presas e locais para oviposição, respectivamente, por meio de HIPVs (SALAMANCAet al., 2015; STRAPASSONet al., 2014). Portanto, estudos visando identificar quais HIPVs estão envolvidos na interação tritrófica *C. externa* – cajueiro – *A. cocois* podem contribuir para o manejo desta praga. De acordo com Michereffet al. (2019), os HIPVs podem variar dependendo do genótipo da planta hospedeira, e essa variabilidade influencia o comportamento de forrageamento dos inimigos naturais.

Para determinar o potencial de predação de *C. externa* sobre *A. cocois* na cultura do cajueiro, (i) realizou-se estudos sobre a resposta funcional de larvas de primeiro ínstar do predador alimentando-se de ovos e ninfas de *A. cocois*, (ii) avaliou-se a resposta olfativa de larvas de terceiro instar de *C. externa* aos voláteis de dois genótipos de cajueiro (CCP 76 e PRO 143/7) induzida pela herbivoria de *A. cocois* (HIPVs), e (iii) caracterizou-se o perfil volátil do genótipos de cajueiro (CCP 76 e PRO 143/7) infestados e não infestados por *A. cocois*.

## 3.2 Material e métodos

### 3.2.1 Criação dos insetos

A criação de *Chrysoperla externa* foi estabelecida com indivíduos adultos coletados em cajueiros na estação experimental da Embrapa Agroindústria Tropical (4° 10' 35" S; 38° 28' 19" W; 79 m de altitude). As colônias de *C. externa* foram mantidas em laboratório (temperatura  $25,0 \pm 2,0$  °C, umidade relativa  $70 \pm 10\%$  e 12 h de fotoperíodo) em gaiolas (30 cm × 20 cm × 20 cm) confeccionadas com recipientes plásticos cobertos com tecido voile. Um copo plástico contendo algodão embebido em água destilada foi colocado no centro das gaiolas para fornecer água e manter a umidade. Os adultos receberam dieta à base de levedura de cerveja e mel (1:1). Os ovos postos pelas fêmeas adultas foram coletados das gaiolas e individualizados em tubos de ensaio (vidro, 8 cm de altura x 3 cm de diâmetro) para emergência das larvas utilizadas nos experimentos. As larvas foram alimentadas com ovos de *Anagastakuehniella* (Zeller)

(Lepidoptera: Pyralidae). Em testes de predação, *C. externa* larvas de primeiro ínstar foram utilizadas porque, com base em resultados de testes preliminares, as larvas de terceiro ínstar consumiram uma grande quantidade de presas (mais de 1000 ovos de *A. cocois*). Este comportamento dificulta a realização de bioensaios de resposta funcional e o estabelecimento de densidades de presas suficientes para estabilizar a curva de consumo e determinar o tipo de resposta funcional. Por outro lado, nos ensaios olfatométricos, o terceiro ínstar larval foi usado, pois mostrou uma boa resposta aos HIPVs (STRAPASSON *et al.*, 2014). Nesse ensaio olfatométrico, não usamos larvas de primeiro ínstar de *C. externa* porque elas não eram responsivas a cajueiros HIPVs (com base em testes preliminares).

Uma colônia de *A. cocois* foi estabelecida com espécimes coletados em cajueiros na estação experimental da Embrapa Agroindústria Tropical (4° 10' 35" S; 38° 28' 19" W; 79 m de altitude) e multiplicados em mudas de cajueiro-anão (genótipo BRS 189) em casa de vegetação protegida (27 ± 1 °C, 70 ± 10% UR e fotoperíodo de 12 h). Mudas de cajueiro foram propagadas por enxertia e cultivadas em tubetes contendo substrato composto de casca carbonizada de arroz (*Oryza sativa* L.), bagaço de carnaúba moído (*Coperniciaprunifera* L.) e solo hidromórfico na proporção de 3:2:2 (GOIANA *et al.*, 2020).

### **3.2.2 Multiplicação das plantas para bioensaios de olfatometria**

As plantas avaliadas no presente estudo foram fornecidas pelo banco de germoplasma da Embrapa Agroindústria Tropical, e esses materiais foram escolhidos com base em testes preliminares de resistência a *A. cocois*. O genótipo PRO 143/7 é considerado resistente a *A. cocois*, enquanto o CCP 76 é considerado suscetível a esse inseto-praga (GOIANA *et al.*, 2020; SARAIVA *et al.*, 2022). Os genótipos de cajueiro foram propagados conforme descrito acima, mantidos nas mesmas condições ambientais (27 ± 1 °C, 70 ± 10% UR e fotoperíodo de 12 h) e utilizados nos experimentos com cerca de 120 dias de idade (4-5 totalmente folhas desenvolvidas e 20 cm de altura).

Um conjunto de mudas de cajueiro dos diferentes genótipos (CCP 76 e PRO 143/7) foi transferido para estufas protegidas com tela para evitar danos causados por artrópodes, assim foi possível obter plantas intactas exibindo voláteis constitutivos que foram utilizadas nos bioensaios de olfatometria. Para obter plantas dos mesmos genótipos (CCP 76 e PRO 143/7) exibindo voláteis induzidos por *A. cocois*, um segundo conjunto de mudas foi previamente exposto individualmente (planta) a 40 adultos de *A. cocois* (sem sexo e de idade) coletados na criação do gado. As infestações foram realizadas em gaiolas (40 × 16 × 16 cm), confeccionadas com arame e tecido voile) contendo uma única planta de cada genótipo de cajueiro (CCP 76 e

PRO 143/7), nas quais os adultos de *A. cocois* permaneceram por 15 dias. Após esse período, foi possível obter genótipos de cajueiro infestados com ovos e ninfas de *A. cocois*, que foram utilizados nos testes de olfatometria (adaptado de LINS *et al.* (2014) para *B. tabaci*).

### **3.2.3 Resposta funcional de *C. externa* alimentada com ovos e ninfas de *A. cocois***

As unidades experimentais consistiram de discos de folhas de cajueiro (5 cm de diâmetro) dispostos sobre espuma (5 cm de diâmetro e 1 cm de altura) saturados em água destilada, inseridos em uma placa de Petri sem tampa (5 cm de diâmetro). Nos limites dos discos foram colocados fios de algodão úmidos para manter o turgor das folhas e evitar a fuga do inseto predador. Posteriormente, larvas de primeiro instar de *C. externa* (12 h de idade, recém-emergidas e nunca antes alimentadas), foram submetidas a cinco diferentes densidades de ovos: 90, 130, 160, 200 e 250 e ninfas de primeiro instar: 30, 60, 90, 130 e 160 de *A. cocois*. Para cada densidade, foram realizadas 10 repetições e uma única larva de *C. externa* foi utilizada para cada repetição. Nos experimentos, apenas ovos recém-depositados de *A. cocois* (diferenciados pela cor) foram utilizados como presas, devido à sua fácil remoção das folhas do cajueiro (ALFAIA *et al.*, 2018). Da mesma forma, ninfas de primeiro instar de *A. cocois* foram utilizadas devido à facilidade de remoção das folhas do cajueiro, por ser o único estágio móvel de ninfa do inseto. Ambas as presas (ovos e ninfas de *A. cocois*) utilizadas nos experimentos foram coletadas em folhas de cajueiro da criação de gado ou plantas naturalmente infestadas no entorno do campus da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza-CE, Brasil e foram transferidas para as unidades experimentais por meio de uma escova de cerdas macias. Após a transferência, as placas de Petri (unidade experimental) foram cobertas com filme plástico perfurado, que serviu como uma segunda barreira física para evitar a fuga de *C. externa* larvas. As larvas de *C. externa* alimentaram-se de ovos ou ninfas de *A. cocois* por um período de 24 h, e o número de presas consumidas foi quantificado pela subtração do total oferecido. As condições experimentais foram semelhantes às utilizadas para a criação do inseto predador.

Antes do experimento de resposta funcional, foi realizado um bioensaio com ovos e ninfas de *A. cocois* (na maior densidade, 250 ovos e 160 ninfas) e sem predadores. O bioensaio revelou que a mortalidade de ovos e devido ao manejo de ovos e ninfas foi muito baixa (4,45%) e, portanto, nenhuma correção foi realizada (ALFAIA *et al.*, 2018).

### **3.2.4 Bioensaios de olfatometria de *C. externa* exposta a voláteis de cajueiro não infestado e infestado por *A. cocois***

As respostas comportamentais de larvas de *C. externa* a voláteis de genótipos de caju selecionados foram avaliadas em um sistema fechado com olfatiometria de tubo Y (1,5 cm de diâmetro, braço principal de 10 cm de comprimento, braços laterais de 7 cm de comprimento, ângulo de 60° entre as laterais braços). Os bioensaios foram realizados em sala com quatro lâmpadas fluorescentes de 40 W (branca fria) no teto, sob condições ambientais controladas ( $27 \pm 1^\circ \text{C}$ ,  $70 \pm 5\% \text{UR}$ ).

Para avaliar se as larvas de *C. externa* respondem ou não aos HIPVs de cajueiros infestados com *A. cocois*, foram realizados testes de duas escolhas, conforme descrito por Lima *et al.* (2017). Ou seja, um braço olfatômetro tratado com voláteis constitutivos de um genótipo de cajueiro (plantas não infestadas) foi comparado a um braço contendo voláteis induzidos por *A. cocois* (plantas infestadas) do mesmo genótipo (LIMA *et al.*, 2017). Assim, foram realizadas duas séries de ensaios: (1) voláteis de plantas não infestadas de CCP 76 versus voláteis de plantas infestadas por *A. cocois* de CCP 76 e (2) voláteis de plantas não infestadas de PRO 143/7 versus voláteis de plantas infestadas por *A. cocois* do PRO 143/7.

Para oferecer as fontes de odor (voláteis), as partes aéreas (folhas) das mudas dos genótipos de cajueiro (não infestadas e infestadas por *A. cocois*) foram individualizadas em sacos de poliéster (100%, 27 cm  $\times$  41 cm) e hermeticamente selado contra as hastes das plantas com fita adesiva. As bolsas foram conectadas ao olfatômetro por meio de mangueiras de silicone. O ar purificado foi passado pelo sistema usando uma bomba de ar através de medidores de fluxo ajustados para 250 ml/min para cada braço do olfatômetro. Para cada bioensaio, uma única larva de terceiro ínstar de *C. externa*, sem alimentação por 24 h (STRAPASSON *et al.*, 2014), foi lançado na parte final do braço central do olfatômetro de tubo Y. O inseto foi exposto a voláteis por 10 min, e cada bioensaio foi girado em 90° para evitar um efeito posicional. Considerou-se que as larvas fizeram uma escolha quando cruzaram uma linha traçada na bifurcação do tubo em Y. O tempo gasto e o número de entradas de *C. externa* nos diferentes braços do olfatômetro foram registrados usando o software SOLF (Sistema para aquisição de dados em bioensaios de olfatiometria) versão 2.0 (FANCELLI *et al.*, 2017). Vinte repetições (insetos) foram realizadas para cada tratamento (genótipos infestados e não infestados). Para cada repetição foi utilizado um novo inseto. Ao final dos 5 bioensaios, o olfatômetro foi limpo com detergente neutro, água destilada e álcool 70% e cajueiros novos foram oferecidos como fonte de odor.

### ***3.2.5 Análise de voláteis das folhas de diferentes genótipos de cajueiros usando o método SPME-GC-MS***

A extração dos voláteis foi realizada por microextração em fase sólida pelo método HS-SPME utilizando fibra DVB/Car/PDMS 50/30 de 1 cm. Os compostos voláteis foram extraídos pela manhã, entre 9h00 e 12h00. A fibra foi exposta ao headspace do frasco contendo aproximadamente 1 g de amostra de folha a 30 °C por 15 min após a etapa de equilíbrio conduzida a 30 °C por 30 min. Cada amostra consistiu em uma folha (~ 1 g) coletada de diferentes genótipos de cajueiro (120 dias de idade) infestados e não infestados por *A. cocois* (CCP 76 e PRO 143/7 não infestados ou infestados por *A. cocois*), 6 réplicas (plantas) foram usadas para coletar as amostras. A análise SPME–GC–MS foi realizada em um instrumento Agilent modelo GC-7890B/MSD-5977A (quadrupolo), com impacto de elétrons a 70 eV, coluna HP-5MS metilpolissiloxano (30 m × 0,25 mm × 0,25 µm, Agilent), hélio gás de arraste com vazão de 1,00 mL min<sup>-1</sup> (7,1 psi) e velocidade linear constante de 36,3 cm s<sup>-1</sup>, temperatura do injetor de 260 °C, temperatura do detector de 150 °C e temperatura da linha de transferência de 280 °C. Programa do forno cromatográfico: temperatura inicial de 40 °C, com rampa de aquecimento de 7 °C.min<sup>-1</sup> até 260 °C por 5 min no final da corrida. A identificação dos compostos obtidos foi realizada comparando os espectros de massa adquiridos com os presentes no banco de dados NIST 2.0 Library, 2012 (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, EUA) que acompanha o software MassHunter Workstation- Qualitative Analysis versão B.06.00 Agilent Technologies (Califórnia, EUA) além de comparar o índice de retenção da série homóloga de n-alcenos C8-C30 (Supelco, 49,451-U, Bellefonte, PA, EUA) e com dados da literatura (ADAMS, 2007).

### 3.2.6 Análise de dados

Para determinar o tipo de resposta funcional de ovos de *C.* externamente alimentados e ninfas de *A. cocois*, inicialmente foram ajustadas curvas de regressão logística entre o número de presas consumidas e as densidades de presas oferecidas utilizando o PROC REG do programa SAS (INSTITUTO SAS, 2018). Posteriormente, foi realizada uma regressão logística da proporção de presas consumidas em função das densidades de presas oferecidas seguindo o protocolo de Juliano (2001) (SAS INSTITUTE, 2018); e a significância dos coeficientes das regressões e o sinal do coeficiente linear foram determinados. De acordo com Holling (1959, 1966), caracteriza três tipos de resposta funcional: Tipo I - quando o coeficiente da equação linear não é significativo; Tipo II - quando o coeficiente é significativo e tem sinal negativo; e Tipo III - quando o coeficiente é significativo e tem sinal positivo. Os parâmetros taxa de ataque ( $a'$ ) (proporção de presa capturada por cada predador por unidade de tempo de

fORAGEAMENTO) e tempo de manipulação da presa ( $Th$ ) (tempo gasto pelo predador para identificar, perseguir, matar, consumir e digerir uma presa) foram estimados na segunda etapa por regressão não linear utilizando o método dos mínimos quadrados (PROC NLIN do SAS) conforme metodologia descrita por JULIANO (2001) e comparados pelo intervalo de confiança de 95%.

Os dados do número de entradas de larvas de *C. externa* nos diferentes braços do olfatômetro foram comparados por meio do teste do  $\chi^2$  ( $\alpha = 0,05$ ). Assim, a frequência de cada indivíduo nos braços tratados com voláteis dos diferentes genótipos de caju (voláteis constitutivos ou voláteis induzidos por *A. cocois*) foi comparada com frações esperadas de 50%. Os dados de tempo de residência, ou seja, o tempo gasto em minutos pelas larvas de *C. externa* em braços contendo voláteis constitutivos do cajueiro ou voláteis induzidos por *A. cocois*, foram submetidos a testes *t* pareados ( $P < 0,05$ ). Insetos não responsivos, aqueles que permaneceram mais de 5 min no tubo central do olfatômetro e aqueles que permaneceram inativos (sem se movimentar) foram excluídos das análises. Todas as análises referentes aos testes do olfatômetro foram realizadas usando o software estatístico SAS (SAS INSTITUTE, 2018).

Para comparar as porcentagens relativas de compostos voláteis em genótipos de cajueiro (CCP 76 e PRO 143/7) infestados ou não infestados por *A. cocois* foram utilizados diferentes testes estatísticos. A suposição de normalidade dos dados de cada genótipo foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, as médias foram comparadas pelo teste *t* de Student, do método Pooled ou Satterthwaite considerando variância igual ou diferente, respectivamente, por meio do procedimento TTEST. Quando pelo menos um dos genótipos não apresentou distribuição normal dos dados, a diferença das médias foi verificada pelo teste exato de Wilcoxon através do procedimento NPAR1WAY. Todas as análises foram realizadas usando o software estatístico SAS (SAS INSTITUTE, 2018).

A fim de entender a capacidade de resposta de cada genótipo de cajueiro à infestação de *A. cocois* e, portanto, classificar alguns compostos voláteis induzidos pela herbivoria da praga, bem como compostos marcadores aceitos, um método de classificação PLS-DA supervisionado foi desenvolvido para segregar as amostras em grupos com base na infestação. Análise discriminante parcial de mínimos quadrados (PLS-DA) foi realizada juntamente com dados de GC-MS para destacar a variabilidade de compostos voláteis dos genótipos de caju de acordo com a infestação de *A. cocois*. A análise foi realizada separadamente para cada genótipo de cajueiro (CCP 76 e PRO 143/7) usando 2 LV (Variáveis latentes) para torná-los comparáveis. O algoritmo Simplified PLS (SIMPLS) foi aplicado para análise de classificação multivariada

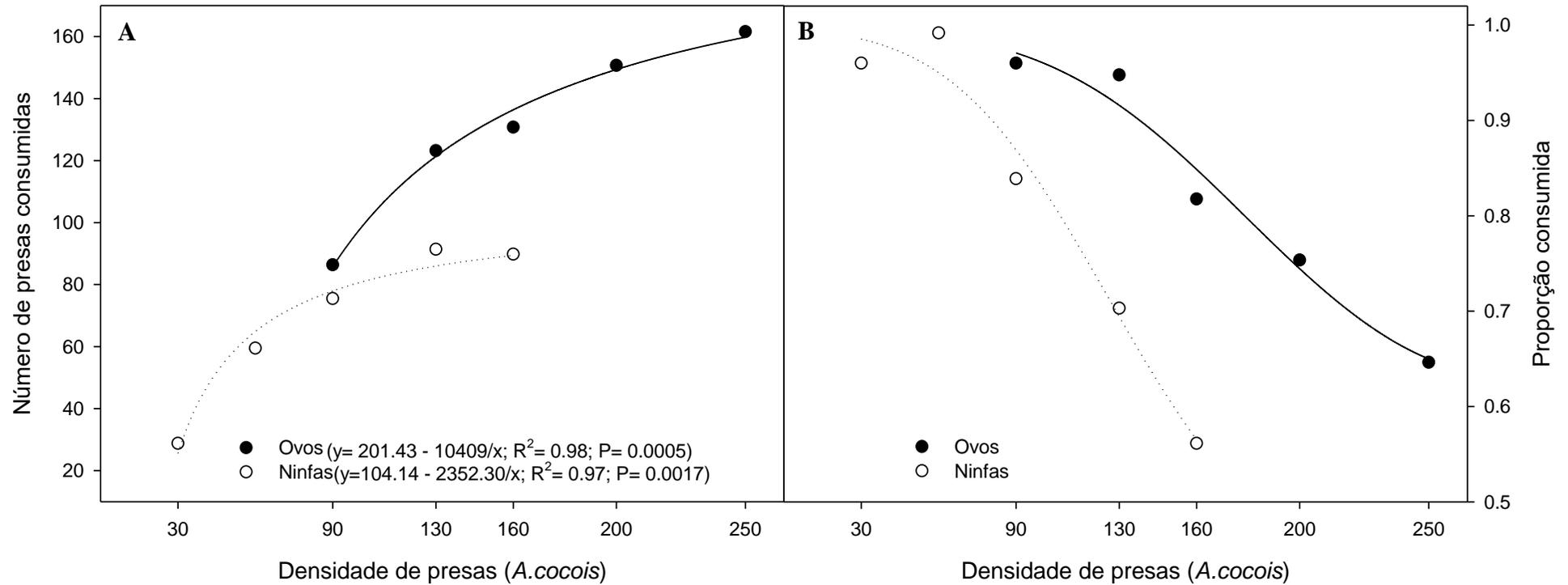
após a aplicação dos mesmos pré-tratamentos do cromatograma mencionados acima. O número de variáveis latentes (LV) esteve de acordo com os parâmetros estatísticos multivariados: percentual de variância captado pelo modelo de regressão baseado em variáveis independentes (matriz X) e variáveis dependentes (matriz Y); Raiz do Erro Quadrático Médio da Calibração (RMSEC); e Raiz do Erro Quadrático Médio da Validação Cruzada (RMSECV). Para a construção da matriz numérica, cada cromatograma foi convertido para o arquivo American Standard Code for Information Interchange (ASCII) e importado pelo programa Origin™ (versão 9).

### 3.3 Resultados

#### 3.3.1 Resposta funcional de *C. externa* alimentada com ovos e ninfas de *A. cocois*

O consumo de ovos e ninfas de *A. cocois* por larvas de primeiro ínstar de *C. externa* aumentou com o aumento da densidade de presas, sendo assim descrito pelo mesmo modelo de regressão (Figura 1 A). As curvas de resposta funcional mostraram maior proporção de presas consumidas nas menores densidades de ovos e ninfas de *A. cocois*, com aproximadamente 100% das presas consumidas nas menores densidades (90–130 ovos, 30–60 ninfas) e cerca de 60% das presas consumidas nas maiores densidades (250 ovos, 160 ninfas) (Figura 1 B). A regressão logística gerou um parâmetro linear negativo significativo ( $b$ ) ( $P < 0,001$ ) da equação de Holling para ovos e ninfas de *A. cocois*, sugerindo que o predador é mais eficaz na supressão de populações de *A. cocois* em baixas densidades por exibir uma resposta funcional tipo II quando alimentado com ambos os estágios de presa (Tabela 1). Apesar das larvas de *C. externa* apresentarem o mesmo tipo de resposta funcional com os dois estágios de presa, o limite de consumo foi diferente, sendo em torno de 90 para ninfas e 160 para ovos (Figura 1 B).

Não foram observadas diferenças significativas entre as taxas de ataque ( $a'$ ) (capacidade de captura de um predador dentro de uma determinada área) de larvas de primeiro ínstar de *C. externa* quando alimentadas com ovos ou ninfas de *A. cocois* (Tabela 2). Em contraste, o tempo de manipulação ( $Th$ ) (tempo gasto pelo predador para identificar, subjugar, matar, consumir e digerir a presa) foi maior para ninfas alimentadas com larvas de *C. externa* em comparação com ovos alimentados com larvas (Tabela 2).



**Figura 1.** Número médio de ovos e ninfas de *A. cocois* (A) e proporção de ovos e ninfas de *A. cocois* (B) consumidos por larvas de primeiro instar de *C. externa*.

**Tabela 1.** Equação de Holling e tipo de resposta funcional de larvas de primeiro instar de *C. externa* alimentadas com ovos e ninfas de *A. cocois*

Tratamentos	Equação de Holling	$\chi^2$	GL	P
-------------	--------------------	----------	----	---

		Coeficiente de regressão logística							Tipo <sup>4</sup>
					a <sup>1</sup> (P)	b <sup>2</sup> (P)	c <sup>3</sup> (P)		
Ovos	$y = \frac{\exp(0.00008x^2) - (0.04x) + 6.9}{1 + \exp [(0.00008x^2) - (0.04x) + 6.9]}$	399.3	47	<.0001	6.9(<.0001)	-0.04(<.0001)	0.00008(<.0001)	II	
Ninfas	$y = \frac{\exp(0.0001x^2) - (0.05x) + 5.68}{1 + \exp [(0.0001x^2) - (0.05x) + 5.68]}$	527.96	47	<.0001	5.68(<.0001)	-0.05(0.0002)	0.0001(0.001)	II	

<sup>1</sup>Intercepto; <sup>2</sup>Linear; <sup>3</sup>Quadrático; <sup>4</sup>Tipo de resposta funcional

**Tabela 2.** Parâmetros ( $\pm$ EP) da resposta funcional de larvas de primeiro instar de *C. externa* alimentadas com ovos e ninfas de *A. cocois*

Tratamentos	$a' \pm$ EP (95% IC)	$Th \pm$ EP (95% CI)*
Ovos	$0.26 \pm 0.05$ (0.15 - 0.37)	$0.12 \pm 0.007$ (0.11 - 0.13)
Ninfas	$0.33 \pm 0.19$ (-0.05 - 0.72)	$0.23 \pm 0.02$ (0.18 - 0.28)

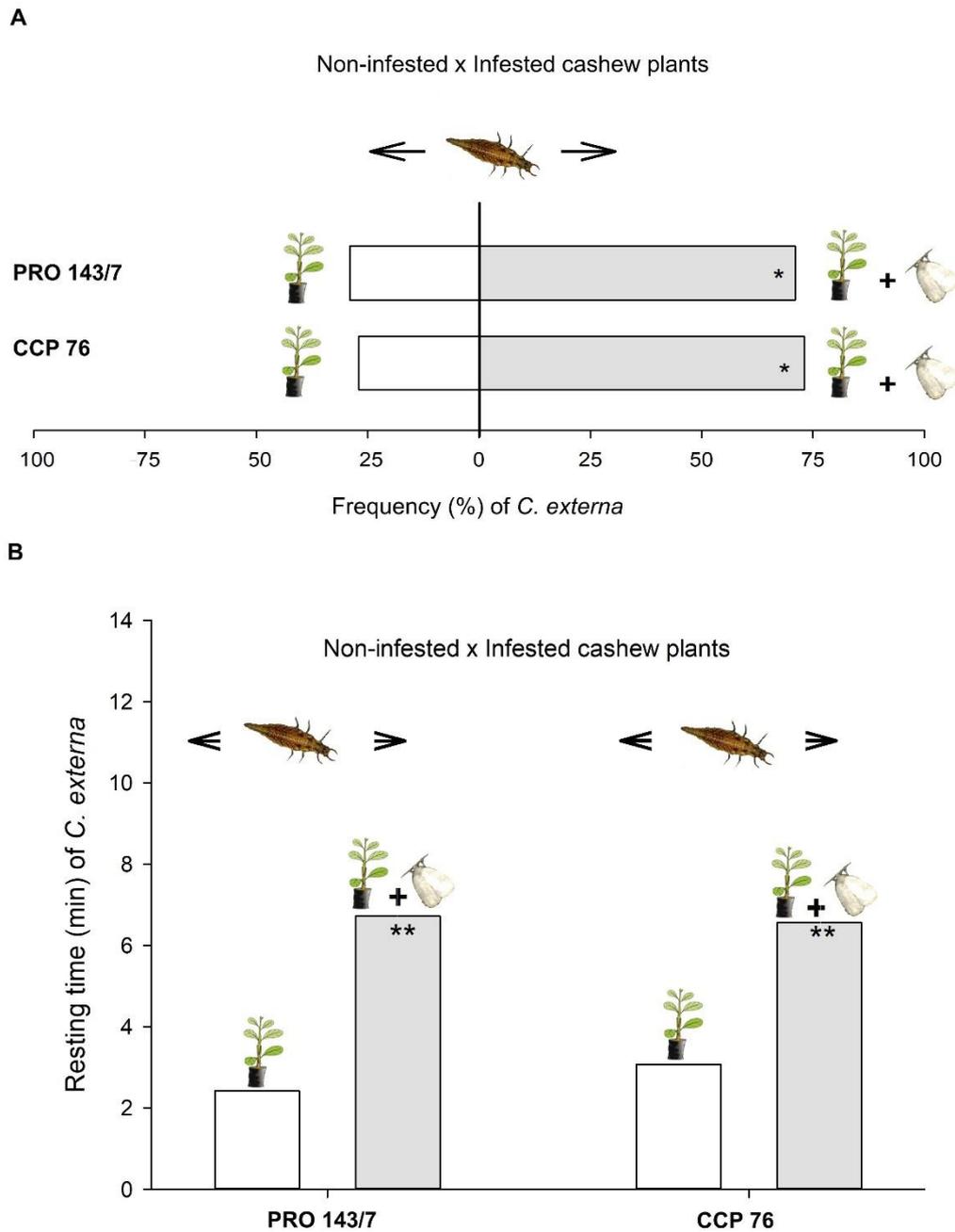
Taxa de ataque  $a'$  (em unidade da proporção de presas capturada pelo predador por unidade de tempo de busca) e tempo de manipulação  $Th$  (em unidades de proporção do período de exposição, 24 h) \* indica diferenças significativas a 5% através da não sobreposição dos intervalos de confiança.

### 3.3.2 Bioensaios de olfatometria de *C. externa* exposta a voláteis de cajueiro não infestado e infestado por *A. cocois*

Padrões de resposta semelhantes foram encontrados para larvas de terceiro ínstar de *C. externa* expostas a voláteis dos diferentes genótipos de caju selecionados. O número de entradas de larvas de terceiro instar de *C. externa* foi significativamente maior nos braços do olfatômetro contendo voláteis de plantas infestadas por *A. cocois* em comparação aos braços contendo voláteis de plantas não infestadas, independentemente do genótipo de cajueiro testado (PRO 143/7  $\chi^2 = 7,04$ ;  $df = 1$ ;  $P = 0,008$  e CCP 76  $\chi^2 = 6,14$ ;  $df = 1$ ;  $P = 0,013$ ) (Fig. 2 a). Da mesma forma, quando o tempo de residência foi comparado, as larvas de *C. externa* gastaram significativamente mais tempo em minutos em braços contendo voláteis de plantas infestadas por *A. cocois* em comparação com braços contendo voláteis de plantas não infestadas para os três genótipos de cajueiro (CCP 76  $t = 3,77$ ;  $df = 26$ ;  $P = 0,0009$  e PRO 143/7  $t = 2,71$ ;  $df = 30$ ;  $P = 0,0109$ ) (Fig. 2 b).

### 3.3.3 Análise de voláteis das folhas de diferentes genótipos de cajueiro usando o método SPME-GC-MS

Um total de 31 compostos voláteis foi identificado em genótipos de cajueiros infestados e não infestados por *A. cocois* (Tabela 3). Antes da infestação, o maior número de compostos foi identificado no genótipo CCP 76, enquanto o PRO 143/7 emitiu menos compostos voláteis (Tabela 3). As análises químicas univariadas dos voláteis revelaram diferenças quantitativas significativas nos seguintes compostos:  $\alpha$ -copaeno,  $\beta$ -cariofileno, germacreno D e  $\delta$ -cadineno, que foram liberados em maiores concentrações apenas por ambos os genótipos (CCP 76 e PRO 143/7) após infestação por *A. cocois* (Tabela 3). Além disso, uma maior concentração de  $\gamma$ -elemene foi observada nas folhas infestadas de CCP 76 (Tabela 3). Já o composto  $\beta$ -ocimeno diferiu significativamente em ambos os genótipos de cajueiro e apresentou menor quantidade nas plantas infestadas (Tabela 3). Diferenças qualitativas também foram encontradas, uma vez que os compostos  $\delta$ -elemene,  $\alpha$ -cubebene,  $\alpha$ -ylangene,  $\alpha$ -humulene, dehydro-aromadendrene, valencene,  $\alpha$ -muurolene,  $\gamma$ -cadinene e selina-3,7(11)-diene só foram liberados por CCP 76 e PRO 143/7 após infestação por *A. cocois* (Tabela 3). Além disso,  $\gamma$ -terpineno, cis- $\beta$ -guaieno e  $\alpha$ -cadineno foram liberados pelo CCP 76, e careno  $\delta$ -2, 2,6-Dimetil-1,3,5,7-octatetraeno, (E, E)- e trans-cadina-1(6),4-dieno foram liberados pelo PRO 143/7 somente após a infestação por *A. cocois* (Tabela 3).



**FIGURA 2.** Número de entradas (A) e tempo gasto (B) para larvas de terceiro ínstar de *C. externa* nos braços do olfatômetro contendo voláteis de plantas não infestadas (barras brancas) e infestadas por *A. cocois* (barras cinza) para diferentes genótipos de cajueiro (PRO 143/7 e CCP 76). (\* indica diferença significativa por testes de  $\chi^2$ , \*\* indica diferença significativa por testes t).

**Tabela 3.** Composição volátil (% relativo; média  $\pm$  erro padrão) de dois genótipos de cajueiro não infestados e infestados por *A. cocois*

IR <sub>calc</sub> <sup>a</sup>	RI <sub>lit</sub> <sup>b</sup>	Compound	CCP 76 genotype		p-value <sup>c</sup>	PRO 143/7 genotype		p-value <sup>d</sup>
			Non-infested	Infested		Non-infested	Infested	
937	932	$\alpha$ -pineno	3.39 $\pm$ 1.93	5.67 $\pm$ 2.70	0.5158 <sup>e</sup>	0.45 $\pm$ 0.19	1.02 $\pm$ 0.24	0.1124 <sup>e</sup>
992	990	Myrceno	0.37 $\pm$ 0.08	0.38 $\pm$ 0.04	0.9183 <sup>e</sup>	-	0.20 $\pm$ 0.07	0.1429 <sup>f</sup>
1015	1002	$\alpha$ -phellandreno	0.18 $\pm$ 0.02	0.07 $\pm$ 0.04	0.0692 <sup>e</sup>	-	-	-
1007	1001	careno $\delta$ -2	0.19 $\pm$ 0.09	-	-	-	0.23 $\pm$ 0.08	-
1027	1014	$\alpha$ -terpineno	-	0.04 $\pm$ 0.04	-	-	0.08 $\pm$ 0.05	-
1038	1024	Limoneno	0.63 $\pm$ 0.23	0.30 $\pm$ 0.18	0.3038 <sup>e</sup>	-	-	-
1040	1032	cis- $\beta$ -ocimeno	0.45 $\pm$ 0.45	-	-	1.03 $\pm$ 0.31	0.42 $\pm$ 0.42	0.2847 <sup>e</sup>
1054	1044	$\beta$ -ocimeno	90.29 $\pm$ 2.93	80.97 $\pm$ 2.27	0.0458 <sup>e</sup>	92.95 $\pm$ 1.10	82.06 $\pm$ 1.26	0.0286 <sup>f</sup>
1063	1054	$\gamma$ - terpineno	-	0.11 $\pm$ 0.07	-	-	-	-
1131	1128	allo-ocimeno	0.54 $\pm$ 0.06	0.72 $\pm$ 0.09	0.1526 <sup>e</sup>	0.40 $\pm$ 0.40	0.77 $\pm$ 0.09	0.3143 <sup>f</sup>
1135	1134	2,6-dimethyl-1,3,5,7-octatetraene, ( <i>E</i> , <i>E</i> )-	0.41 $\pm$ 0.01	0.38 $\pm$ 0.14	0.8212 <sup>e</sup>	-	0.66 $\pm$ 0.08	-
1144	1140	neo- <i>allo</i> -ocimeno	0.97 $\pm$ 0.09	0.90 $\pm$ 0.33	0.8610 <sup>e</sup>	0.49 $\pm$ 0.49	1.45 $\pm$ 0.18	0.3143 <sup>f</sup>
1343	1335	$\delta$ -elemeno	-	0.11 $\pm$ 0.04	-	-	0.23 $\pm$ 0.01	-
1356	1348	$\alpha$ -cubebene	-	0.03 $\pm$ 0.03	-	-	0.33 $\pm$ 0.02	-
1379	1373	$\alpha$ -ylangeno	-	0.19 $\pm$ 0.02	-	-	0.29 $\pm$ 0.03	-
1383	1374	$\alpha$ -copaeno	0.15 $\pm$ 0.01	0.52 $\pm$ 0.09	0.0259 <sup>e</sup>	0.06 $\pm$ 0.03	0.78 $\pm$ 0.05	<0.0001 <sup>e</sup>
1429	1417	$\beta$ -caryophylleno	0.55 $\pm$ 0.10	2.63 $\pm$ 0.22	0.0001 <sup>e</sup>	0.34 $\pm$ 0.07	2.96 $\pm$ 0.36	0.0045 <sup>e</sup>
1439	1419	$\beta$ -ylangeno	-	-	-	-	0.29 $\pm$ 0.06	-
1440	1434	$\gamma$ -elemeno	0.06 $\pm$ 0.04	0.66 $\pm$ 0.08	0.0005 <sup>e</sup>	-	-	-
1464	1452	$\alpha$ -humuleno	-	0.29 $\pm$ 0.05	-	-	0.32 $\pm$ 0.05	-
1471	1460	dehydro- aromadendreno	-	0.33 $\pm$ 0.08	-	-	0.24 $\pm$ 0.04	-
1481	1475	trans-cadina-1(6),4-dieno	-	-	-	-	0.48 $\pm$ 0.18	-
1484	1478	$\gamma$ -muuroleno	0.19 $\pm$ 0.02	0.53 $\pm$ 0.24	0.2857 <sup>f</sup>	0.13 $\pm$ 0.04	0.47 $\pm$ 0.29	0.3301 <sup>e</sup>
1490	1480	germacreno D	0.07 $\pm$ 0.04	0.50 $\pm$ 0.08	0.0021 <sup>e</sup>	0.14 $\pm$ 0.05	1.16 $\pm$ 0.08	<0.0001 <sup>e</sup>
1497	1496	Valenceno	-	0.04 $\pm$ 0.04	-	-	0.19 $\pm$ 0.07	-
1496	1492	cis- $\beta$ -guaieno	-	0.27 $\pm$ 0.10	-	-	-	-

1505	1500	$\alpha$ -muuroleno	-	$0.43 \pm 0.17$	-	-	$1.10 \pm 0.21$	-
1511	1509	$\alpha$ -bulneseno	$0.06 \pm 0.03$	-	-	$0.14 \pm 0.08$	-	-
1523	1513	$\gamma$ -cadineno	-	$0.25 \pm 0.13$	-	-	$0.20 \pm 0.07$	-
1532	1533	$\delta$ -cadineno	$0.21 \pm 0.02$	$0.83 \pm 0.24$	$0.0806^e$	$0.23 \pm 0.05$	$0.51 \pm 0.06$	$0.0116^e$
1535	1537	$\alpha$ -cadineno	-	$0.23 \pm 0.20$	-	-	-	-
1553	1545	selina-3,7(11)-dieno	-	$0.42 \pm 0.09$	-	-	$0.15 \pm 0.05$	-

<sup>a</sup>Calculated retention index

<sup>b</sup>Literature retention index (Adams, 2007)

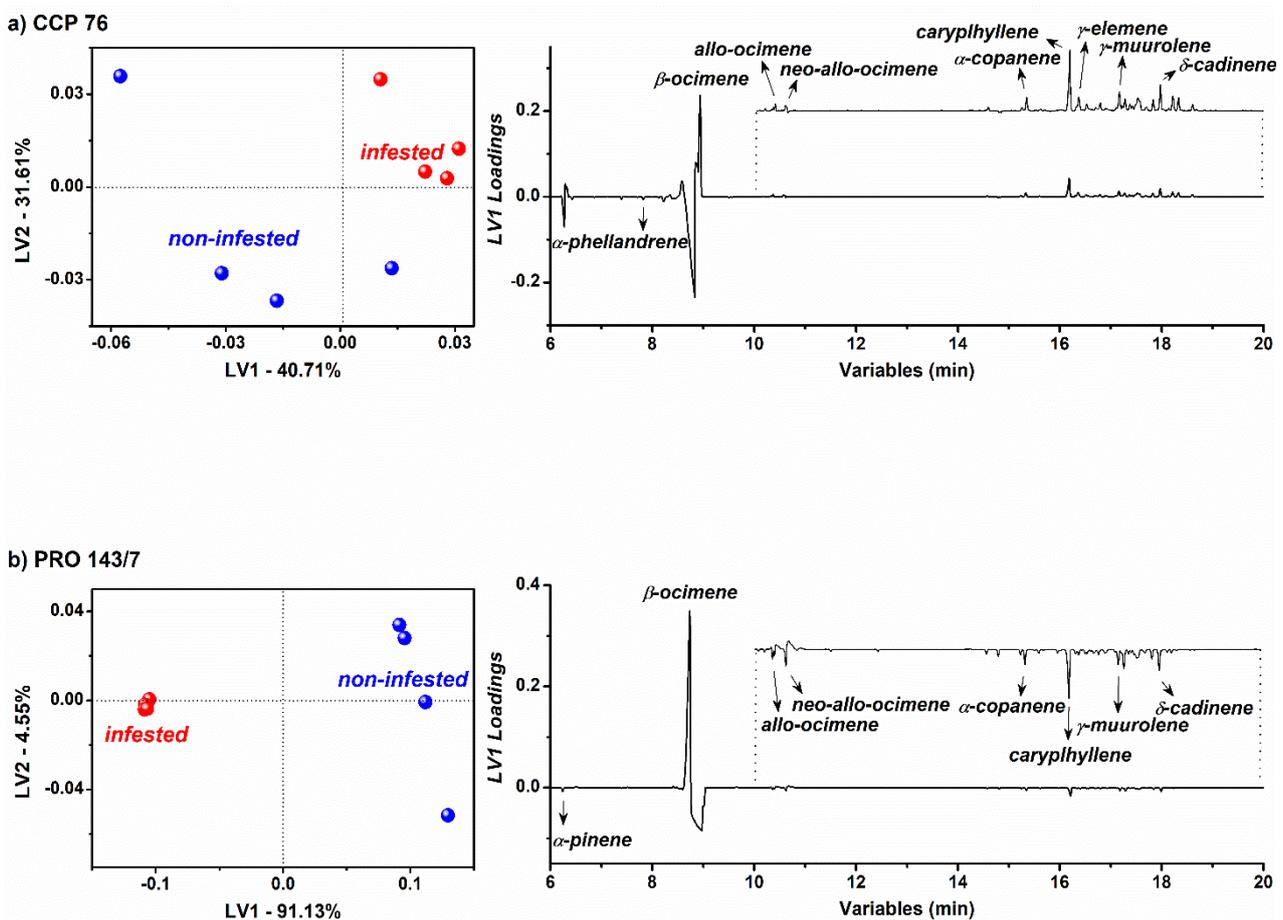
<sup>c</sup>p-value referring to the comparison of means for the CCP 76 genotype;

<sup>d</sup>p-value referring to the comparison of means for the PRO 143/7 genotype;

<sup>e</sup>p-values referring to the parametric means test (t test);

<sup>f</sup>p-values referring to the non-parametric test of means (Wilcoxon test).

A Figura 3 mostra os resultados da classificação binária considerando cada um dos genótipos separadamente. A separação dos genótipos de cajueiro com base na infestação por *A. cocois* ocorreu principalmente de acordo com o eixo LV1 (Fig. 3). A separação dos clusters foi mais claramente baseada na composição dos voláteis liberados pelo PRO143/7 do que pelo CCP 76. De acordo com as cargas, os compostos  $\beta$ -cariofileno, *allo*-ocimeno, *neo-allo*-ocimeno,  $\alpha$ -copaeno,  $\gamma$ -muuroлено, e  $\delta$ -cadineno foram comumente liberados em grandes quantidades por CCP 76 e PRO 143/7 após a infestação por *A. cocois* (Fig. 3). Em particular, o  $\alpha$ -pineno é relevante apenas para o genótipo PRO 143/7 (Fig. 3 b), enquanto o  $\gamma$ -elemene foi relevante apenas para o CCP 76 (Fig. 3 a).



**FIGURA 3.** Escores PLS-DA bidimensionais (LV1  $\times$  LV2) da classificação binária de compostos voláteis liberados por diferentes genótipos de caju com base na infestação por *A. cocois*: (A) CCP 76 e (B) PRO 143/7

### 3.4 Discussão

Embora os predadores possam exibir os três tipos de respostas funcionais (I, II e III) (HOLLING, 1959), a resposta funcional do tipo II é a mais frequente em insetos (BEGON *et al.*, 1999). Os resultados do presente estudo demonstraram que larvas de primeiro ínstar de *C. externa* apresentaram resposta funcional tipo II quando alimentadas com ovos ou ninfas de primeiro ínstar de *A. cocois*. Esses resultados são corroborados por outros estudos que verificaram o mesmo tipo de resposta funcional para larvas de *C. externa* alimentadas com diferentes estágios ninfais dos pulgões *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae) (FONSECA; CARVALHO; SOUZA, 2000), *Rhopalosiphum maidis* (FITCH, 1856) (Hemiptera: Aphididae) (MAIA *et al.*, 2004), *Melanaphis sacchari* (ZEHNTNER, 1897) (Hemiptera: Aphididae) (PALOMARES-PÉREZ; BRAVO-NÚÑEZ; ARREDONDO-BERNAL, 2019) e a mosca-branca *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) (CASTRO *et al.*, 2016).

Holling (1959) caracterizou que na resposta funcional tipo II o número de presas consumidas por um predador aumenta rapidamente devido a uma maior disponibilidade de presas, com redução gradativa até atingir certa estabilidade (platô), onde o predador atinge a saciedade. De fato, esse comportamento foi observado no presente estudo, pois o consumo de ovos e ninfas de *A. cocois* por larvas de *C. externa* foi de aproximadamente 100% nas menores densidades, mas em densidades maiores de ambos os estágios de presas o consumo diminuiu para aproximadamente 60%. Isso sugere que *C. externa* é mais eficaz na supressão de populações de *A. cocois* em baixas densidades.

Embora as larvas de primeiro ínstar de *C. externa* tenham apresentado o mesmo tipo de resposta funcional em ambos os estágios de presa, o limite de consumo foi diferente, sendo maior para ovos (160) do que para ninfas (90) de *A. cocois*. Isso provavelmente decorre da variação no tamanho das presas, pois os ovos geralmente são menores que as ninfas, por isso tem menos biomassa, o que significa que os predadores precisam consumir mais ovos para obter a mesma quantidade de nutrientes (GANJISAFFAR; PERRING, 2015; JUMBO *et al.*, 2019). O alto consumo de ovos por larvas de primeiro ínstar de *C. externa* pode ser necessário em programas de controle biológico de *A. cocois* na cultura do cajueiro, porque o predador pode regular a população da praga antes que ela se desenvolva e cause danos à planta hospedeira (GANJISAFFAR; PERRING, 2015). A habilidade predatória de *C. externa* para *A. cocois* deve ser maior do que a estimada em nesse estudo. Segundo Costa *et al.* (2020), as habilidades dos crisopídeos para localizar e manipular suas presas aumentam em resposta à idade. Assim, em instares avançados como o terceiro, as larvas de *C. externa* podem consumir

maior quantidade de ovos e ninfas de *A. cocois*. De fato, as larvas de crisopídeos de terceiro instar têm maior massa corporal, voracidade e, portanto, maiores necessidades nutricionais (HASSANPOUR *et al.*, 2011).

Junto com a resposta funcional, os parâmetros taxa de ataque e tempo de manipulação auxiliam na determinação da eficiência do agente de controle biológico (HOLLING, 1959; AUAD; FREITAS; BARBOSA, 2002). A taxa de ataque determina a capacidade de captura de um predador dentro de uma determinada área (HOLLING, 1959), enquanto o tempo de manejo é caracterizado como o tempo gasto pelo predador para identificar, perseguir, matar, consumir e digerir a presa (HOLLING, 1959). No presente estudo, o estágio de desenvolvimento da presa não interferiu na taxa de ataque das larvas de *C. externa*. No entanto, o maior tamanho das ninfas pode ter influenciado no tempo de manejo, pois larvas de *C. externa* alimentadas com ninfas exibiram tempos de manipulação mais longos do que as larvas alimentadas com ovos. De fato, o tempo de manipulação de insetos predadores pode variar de acordo com o tamanho da presa (NORDLUND; MORRISON, 1990; JUMBO *et al.*, 2019). Para Chrysopidae, presas maiores podem resultar em tempos de manipulação mais longos. Por exemplo, larvas de *Chrysoperla rufilabris* (Burmeister) (Neuroptera: Chrysopidae) passaram mais tempo manipulando as larvas de *Heliothis virescens* (FABRICIUS, 1781) (Lepidoptera: Noctuidae) do que os ovos desse inseto (NORDLUND; MORRISON, 1990). Da mesma forma, larvas de *Ceraeochrysa caligata* (BANKS, 1945) (Neuroptera: Chrysopidae) exibiram maior tempo de manipulação com fêmeas adultas de *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) do que com ovos e ninfas do mesmo ácaro (JUMBO *et al.*, 2019).

Nos testes comportamentais, as larvas de terceiro instar de *C. externa* foram capazes de distinguir e selecionar os sinais voláteis de plantas infestadas por *A. cocois*, independentemente do genótipo de cajueiro. Este resultado é consistente com os de estudos anteriores que mostraram a preferência de atração e oviposição de *C. externa* por plantas infestadas por suas presas. Por exemplo, fêmeas adultas de *C. externa* foram atraídas e preferidas para ovipositar em roseiras infestadas pelo pulgão *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Hemiptera: Aphididae) em comparação com plantas não infestadas (SALAMANCA *et al.* 2015). Além disso, em testes de olfatometria, larvas de terceiro instar de *C. externa* foram atraídas por voláteis de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) infestadas por *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) em vez de voláteis de plantas não infestadas (STRAPASSON *et al.*, 2014).

A análise de separação de agrupamentos mostrou que plantas CCP 76 ou PRO 143/7 não infestadas e infestadas por *A. cocois*, quando comparadas em congêneres, apresentam perfis químicos diferentes. Isso sugere que a infestação por *A. cocois* teve papel fundamental nas

mudanças nas emissões de compostos voláteis pelos genótipos de caju avaliados. De fato, a infestação por insetos herbívoros pode alterar quantitativa e qualitativamente os perfis voláteis das plantas hospedeiras (DARSHANEE *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2018). Isso provavelmente ocorre porque, ao se alimentarem da seiva do floema, insetos sugadores, como a mosca-branca, ativam as vias de indução do ácido salicílico (DARSHANEE *et al.*, 2017).

Os voláteis induzidos pela mosca-branca atuam principalmente na defesa indireta das plantas hospedeiras, pois esses compostos podem desencadear uma resposta comportamental de atratividade aos inimigos naturais (BIRKETT *et al.*, 2003; LI *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2018). No presente estudo, de acordo com a análise de componentes principais, os compostos  $\beta$ -cariofileno,  $\alpha$ -copaeno,  $\alpha$ -ocimeno, neo- $\alpha$ -ocimeno,  $\gamma$ -muuroleno e  $\delta$ -cadineno foram comumente liberados em grandes quantidades pelos genótipos CCP 76 e PRO 143/7 somente após a infestação por *A. cocois*. Portanto, esses compostos podem estar relacionados à atratividade de larvas *C. externa* voláteis de plantas infestadas dos diferentes genótipos de cajueiro. De fato, alguns desses compostos já demonstraram desempenhar um papel importante no comportamento de forrageamento de inimigos naturais. O composto  $\beta$ -cariofileno é considerado altamente atrativo para insetos Chrysopidae (FLINT; SALTER; WALTERS, 1979) e foi reconhecido por proteínas ligantes de odorantes presentes nas antenas de adultos da espécie *Chrysoperlasinica* (Tjeder) (Neuroptera: Chrysopidae) (LI *et al.*, 2018). Além disso, o  $\alpha$ -copaeno, em mistura com outros compostos, atraiu os parasitóides *Kariyaicotesia* Watanabe (Hymenoptera: Braconidae) (mistura:  $\alpha$ -copaeno + salicilato de metila +  $\beta$ -mirceno) (OZAWA *et al.*, 2008) e *Chelonus insularis* (Hymenoptera: Braconidae) (mistura:  $\alpha$ -copaeno +  $\alpha$ -pineno) (ORTIZ-CARREON *et al.*, 2019). Além disso, o composto volátil  $\alpha$ -ocimeno junto com cis- $\beta$ -ocimeno,  $\beta$ -ocimeno e  $\alpha$ -farneseno foram considerados candidatos atraentes para a joaninha predadora *Aiolocaria hexaspilota* (HOPE, 1831) (Coleoptera: Coccinellidae) (YONEYA; TAKABAYASHI, 2013). Apesar das evidências levantadas, estudos mais detalhados devem ser conduzidos para identificar quais dos compostos químicos voláteis emitidos por genótipos de cajueiro infestados por *A. cocois* realmente contribuem para a resposta de atratividade para larvas de *C. externa*. Segundo Laznik e Trdan (2018), mesmo o fato de as plantas liberarem compostos voláteis em quantidades e qualidades diferentes após a infestação, a resposta de atratividade dos crisopídeos provavelmente está relacionada a determinadas substâncias.

### 3.5 Conclusão

Em conclusão, este estudo confirmou que o predador generalista *C. externa* pode ser eficaz no controle da mosca-branca *A. cocois* na cultura do cajueiro, especialmente em baixa

densidade populacional da praga. Além disso, larvas de terceiro instar de *C. externa* usam voláteis de cajueiros infestados por *A. cocois* para localizar suas presas. A análise do perfil volátil fornece informações sobre possíveis compostos envolvidos no comportamento de atratividade de *C. externa* a voláteis de cajueiros infestados por *A. cocois* ( $\beta$ -cariofileno,  $\alpha$ -copaeno, *alo*-ocimeno, neo-*alo*-ocimeno,  $\gamma$ -muuroleno,  $\epsilon\delta$ -cadineno). Portanto, esses compostos merecem investigações adicionais para o desenvolvimento de novas estratégias de manejo utilizando semioquímicos favoráveis ao predador *C. externa*, contribuindo para o controle biológico de *A. cocois* na cultura do cajueiro.

**4 CAPÍTULO 3 - BIOATIVIDADE DA MISTURA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS DE *Lippiasidoides* E *Cymbopogonwinterianum* À *Aleurodicuscocois* (HEMIPTERA: ALEYRODIDAE) E SELETIVIDADE AO SEU INIMIGO NATURAL *Chrysoperla externa* (NEUROPTERA: CHRYSOPIDAE)**

## RESUMO

A moscabranca *Aleurodicus cocois* (Curtis, 1846) (Hemiptera: Aleyrodidae) é uma das principais pragas do cajueiro *Anacardium occidentale* L. no Brasil. O uso de óleos essenciais e seus

constituíntes são um meio alternativo de controlar pragas com baixo risco aos inimigos naturais. No presente trabalho, avaliou-se o perfil químico e a toxicidade da mistura dos óleos essenciais de *Lippiasidoides* Cham (Verbenaceae) e *Cymbopogonwinterianum* Jowitt (Poaceae) sobre o terceiro e quarto estágio ninfal de *A. cocois*, bem como sua seletividade ao predador *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae). Os resultados revelaram que timol e  $\rho$ -cymene foram os monoterpenos majoritários no óleo de *L. sidoides*, enquanto que no óleo de *C. winterianus*, geraniol, citronelal e citronelol foram os principais. Nos bioensaios de concentração-mortalidade foi revelado a toxicidade da mistura dos dois óleos essenciais avaliados sobre o terceiro e quarto estágio ninfais de *A. cocois* por meio da sua CL<sub>50</sub>, estimadas em 0,97  $\mu\text{L}/\text{cm}^2$  e 1,48  $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ , respectivamente. Em todas as concentrações avaliadas, a mistura dos óleos essenciais causou baixa mortalidade de ovos e larvas de *C. externa* e não alterou o tempo de desenvolvimento do predador. Testes adicionais demonstraram que independente das concentrações testadas e tempos de exposição (1, 3 e 24h) houve repelência de larvas de *C. externa* quando exposto à mistura dos óleos essenciais avaliados. Conclui-se que a mistura dos óleos essenciais de *L. sidoides* e *C. winterianum* é tóxica aos dois estágios ninfais de *A. cocois* testados e apresenta moderada seletividade ao predador *C. externa*.

**Palavras-chave:** controle alternativo, crisopídeo, toxicidade, mosca-branca-do-cajueiro, óleos vegetais.

## ABSTRACT

The whitefly *Aleurodicus cocois* (Curtis, 1846) (Hemiptera: Aleyrodidae) is one of the main pests of cashew *Anacardium occidentale* L. in Brazil. The use of essential oils and their constituents are an alternative means of controlling pests with low risk to natural enemies. In

the present work, the chemical profile and toxicity of the mixture of the essential oils of *Lippiasidoides* Cham (Verbenaceae) and *Cymbopogon winterianum* Jowitt (Poaceae) on the third and fourth nymphal stages of *A. cocois*, as well as its selectivity to the predator *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae). The results showed that thymol and  $\rho$ -cymene were the monotherapeutic monoterpenes in the oil of *L. sidoides*, whereas in the oil of *C. winterianus*, geraniol, citronellal and citronelol were the main ones. Concentration-mortality bioassays revealed the toxicity of mixing the two essential oils evaluated on the third and fourth nymphal stages of *A. cocois* by its  $LC_{50}$ , estimated at 0.97  $\mu\text{L} / \text{cm}^2$  and 1.48  $\mu\text{L} / \text{cm}^2$ , respectively. In all evaluated concentrations, the mixture of the essential oils caused low mortality of eggs and larvae of *C. externa* and did not alter the development time of the predator. Additional tests showed that, regardless of the concentrations tested and exposure times (1, 3 and 24h), there was repellency of *C. externa* larvae when exposed to the mixture of essential oils evaluated. It is concluded that the mixture of the essential oils of *L. sidoides* and *C. winterianum* is toxic to the two nymphal stages of *A. cocois* tested and presents moderate selectivity to the predator *C. externa*.

Keywords: alternative control, chrysopídeo, toxicity, cashew whitefly, vegetable oils.

#### 4.1 Introdução

*Aleurodicuscocois* (Curtis, 1846) (Hemiptera: Aleyrodidae) é uma espécie de mosca-branca reportada em diversas espécies de plantas ornamentais e frutíferas na América latina (NÚÑEZ, 2008; NÚÑEZ *et al.*, 2008; GOIANA *et al.*, 2017). No Brasil *A. cocois* é uma das principais pragas do cajueiro *Anacardium occidentale* L. (BLEICHER; MELO, 1996; PAIVA

*et al.*, 2008; MESQUITA; BRAGA SOBRINHO, 2013; GOIANA *et al.*, 2017). Colônias dessa praga habitam a página inferior das folhas do cajueiro, e sua atividade de alimentação e oviposição podem ocasionar danos nesta cultura (MESQUITA; BRAGA SOBRINHO, 2013; GOIANA *et al.*, 2017). Ao se alimentar da seiva do floema, as moscas-brancas têm potencial de infligir desordens fisiológicas em plantas, sendo esse um dano direto (INBAR; GERLING, 2008). A colonização completa de *A. cocois*, reconhecida pela presença de cera, promove o desenvolvimento de fumagina (fungo *Capnodium* sp.) na face adaxial das folhas do cajueiro como dano indireto (GOIANA *et al.*, 2017).

Dificuldades no controle de *A. cocois* são encontradas pelos cajucultores no Brasil. Estratégias de manejo com inseticidas não certificados foram utilizados em anos anteriores, uma vez que o primeiro registro de um produto formulado para esta praga se deu apenas no ano de 2019 (AGROFIT, 2019). Entretanto, o uso indiscriminado de pesticidas sintéticos no controle de moscas-brancas pode desencadear problemas irreversíveis como a seleção de insetos resistentes, contaminação ambiental, mortalidade de inimigos naturais, além de riscos a saúde humana (HOROWITZ; ISHAAYA, 2014; CHAGNON *et al.*, 2015; BACCI *et al.*, 2017). O uso de óleos essenciais de plantas e seus derivados são um meio alternativo de controlar pragas e apresentam uma vantagem por serem menos nocivos ao homem e animais (TRIPATHI *et al.*, 2009; ISMAN; MIRESMALLI; MACHIAL, 2011; LIMA *et al.*, 2013). Dentre as plantas medicinais com alto potencial de produção de óleos essenciais destacam-se alecrim-pimenta *Lippiasidoides* Chan (Verbenaceae) e capim-citronela *Cymbopogonwinterianum* Jowitt (Poaceae), que tem seu cultivo amplamente distribuído nas regiões tropicais (MARCO *et al.*, 2007; LIMA *et al.*, 2013). De fato, aplicações isoladas dos óleos essenciais dessas duas plantas mostraram controlar eficientemente diversos insetos-pragas do meio urbano e agrícola (LIMA *et al.*, 2011; LIMA *et al.*, 2013; DELETRE *et al.*, 2015, 2016). Para *A. cocois* concentrações de 0,5% dos óleos essenciais de *L. sidoides* e de *C. winterianum* controlaram em torno de 72,50% e 60,18% da população respectivamente, apresentando, portanto, uma eficiência de controle moderada (BRAGA SOBRINHO *et al.*, 2018). Segundo Traboulsi *et al.* (2002) e Benelli *et al.* (2017) óleos essenciais de diferentes espécies de plantas podem ser utilizados em misturas, pois o efeito combinado pode potencializar a sua toxicidade contra insetos. Portanto investigar a mistura dos óleos essenciais *L. sidoides* e *C. winterianum* contra *A. cocois* pode ser útil no seu manejo.

O uso de óleos essenciais de plantas no manejo de aleirodídeos tem sido objetivo de estudo de diversas pesquisas (MAHMOODI; VALIZADEGAN, 2014; BALDIN *et al.*, 2015; ZANDI-SOHANI *et al.*, 2018). Especificamente para *A. cocois*, tem sido relatado a toxicidade

dessas substâncias ao estágio ninfal (MOTA *et al.*, 2017; BRAGA SOBRINHO *et al.*, 2018). Segundo Núñez *et al.* (2008) faz-se necessário avaliar o efeito dos pesticidas sob diferentes estágios ninfais de *A. cocois*, pois esses podem apresentar diferenças na susceptibilidade. Além da mortalidade da praga-alvo é necessário conhecer o impacto dos óleos essenciais aos organismos não-alvo como, por exemplo, os inimigos naturais.

Os crisopídeos (Neuroptera: Chrysopidae) são importantes agentes de controle biológico de populações de artrópodes fitófagos em cultivos agrícolas (ALBUQUERQUE; TAUBER; TAUBER, 2001, 2012). A espécie *C. externa* é comumente encontrada forrageando folhas de cajueiro-anão e é um potencial inimigo natural para o controle de *A. cocois* (GOIANA *et al.*, 2017). Estudos visando seletividade de pesticidas a *C. externa* foram conduzidos em diversas culturas agrícolas (MOURA *et al.*, 2010; GODOY *et al.*, 2011; CASTILHOS *et al.*, 2014; PASINI *et al.*, 2018). Contudo, no cajueiro essas investigações têm sido negligenciadas.

Neste sentido os objetivos do trabalho foram investigar o perfil químico e a toxicidade da mistura dos óleos essenciais de *L. sidoidese* *C. winterianum* ao terceiro e quarto estágio ninfal de *A. cocois* e avaliar a seletividade ao predador *C. externa* na cultura do cajueiro.

## **4.2 Material e métodos**

### **4.2.1 Extração dos óleos essenciais**

Folhas frescas de *L. sidoidese* *C. winterianum* foram submetidas à extração dos óleos essenciais por hidrodestilação em aparelho do tipo Clevenger durante 4h. Em seguida, o óleo essencial foi coletado, seco com sulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), armazenado em vidro âmbar e estocado em freezer a  $-18^\circ\text{C}$  para determinação da composição química e formulação da mistura para a realização dos ensaios biológicos.

### **4.2.2 Composição química dos óleos essenciais**

Para a determinação da composição química dos óleos essenciais utilizou-se um sistema de cromatografia gasosa acoplado à espectrometria de massas (CG-EM) modelo GC-7890B/MSD-5977A (Agilent), com impacto de elétrons de 70 eV (quadrupolo). As amostras de óleo essencial foram diluídas em hexano na proporção de 1:100. Utilizou-se uma coluna capilar HP-5MS metilpolissiloxano (30 m x 0,25 mm x 0,25  $\mu\text{m}$ , Agilent), gás carreador hélio com fluxo  $1,00 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ , modo de injeção Split e volume de injeção de 1  $\mu\text{L}$ . As temperaturas do injetor, linha de transferência e quadrupolo foram fixadas em  $250^\circ\text{C}$ ,  $280^\circ\text{C}$  e  $150^\circ\text{C}$ , respectivamente. Utilizou-se a seguinte programação do forno cromatográfico: temperatura inicial de  $70^\circ\text{C}$ , com rampa de aquecimento de  $4^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  até  $180^\circ\text{C}$  e acréscimo de  $10^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$

<sup>1</sup> até 250°C ao término da corrida (34,5 min). A identificação dos compostos foi realizada pela análise dos padrões de fragmentação exibidos nos espectros de massas com aqueles presentes na base de dados fornecida pelo equipamento (NIST versão 2.0 de 2012 – 243.893 compostos), e de dados da literatura.

#### **4.2.3 Mistura dos óleos essenciais**

Os óleos essenciais foram misturados na proporção 3:2 com adição de *L. sidoides* e *C. winterianum* em 60 e 40%, respectivamente. Na composição, Tween foi utilizado como adjuvante.

#### **4.2.4 Criação do insetopredador *C. externa***

A criação de *C. externa* foi estabelecida com indivíduos adultos coletados em plantas de cajueiro no campus da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) em São Luís – MA (02°35'03,46" S, 44°12'32,14" O).

Colônias de *C. externa* foram mantidas em laboratório (temperatura  $25,0 \pm 2,0^\circ\text{C}$ , umidade relativa  $70 \pm 10\%$  e 12h de fotoperíodo) em (30 cm x 20 cm x 20 cm) confeccionadas com recipientes plásticos revestidas com tecido *voil*. No centro das gaiolas um copo plástico contendo algodão embebido em água destilada foi inserido para fornecimento de água e manutenção da umidade. Os adultos foram alimentados com dieta confeccionada com levedura de cerveja e mel (1:1). As posturas das fêmeas foram coletadas das gaiolas e individualizadas em tubos de ensaio para emergência de novos adultos utilizados na manutenção da criação. As larvas emergidas foram alimentadas com ovos de *Anagastakuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae).

#### **4.2.5 Toxicidade da mistura de óleos essenciais a *A. cocois***

Experimentos de concentração-mortalidade foram realizados para determinar as concentrações letais da mistura dos óleos essenciais de *L. sidoides* e *C. winterianum* para as ninfas de terceiro e quarto instar *A. cocois*.

Os bioensaios foram realizados de maneira adaptada ao descrito por Liu e Stansly, (2000). Foram coletadas folhas de cajueiro infestadas com ninfas de segundo e terceiro instar de *A. cocois*. As coletas das folhas foram realizadas em pomares de cajueiros (20 anos de idade aproximadamente) livres de pulverizações de inseticidas, localizados no campus da UEMA. Posteriormente, foram confeccionadas arenas de 5 cm<sup>2</sup> de diâmetro (unidade experimental) com as folhas infestadas com as ninfas (segundo e terceiro instar) de *A. cocois*. As arenas foram

inseridas sobre espuma (9 cm de diâmetro e 1 cm de altura) saturada em água destilada colocada dentro de uma em placa de petri (9 cm de diâmetro). Fios de algodão umedecidos foram postos nas margens das arenas para manter a turgidez das folhas. Em laboratório, após um período de 24h foi possível obter ninfas recém-emergidas de terceiro e quarto instar de *A. cocois* que foram mantidas em arenas distintas. Ninfas que não mudaram de instar foram excluídas dos ensaios.

A mistura dos óleos essenciais de *L. sidoidese C. winterianum* foi pulverizada através de uma torre de Potter (Burkard, Rickmansworth, UK) sobre as arenas contendo ninfas de terceiro e quarto instar de *A. cocois*. A pulverização foi realizada a uma pressão de 0,34 bar (34 kPa) com uma alíquota de pulverização de 1,7 mL, que resultou num resíduo de  $1,8 \pm 0,1$  mg / cm<sup>2</sup> (OLIVEIRA *et al.*, 2017). As concentrações da mistura de óleos essenciais (*L. sidoidese C. winterianum*) utilizadas foram determinadas através de pré-testes situando-se entre os limites inferior (0%) e o superior (100%) de mortalidade dos dois estágios ninfais de *A. cocois*. Oito concentrações da mistura de óleos para o terceiro (0,69, 0,86, 1,03, 1,21, 1,38, 1,55, 1,73, 1,90 µl/cm<sup>2</sup>) e quarto (1,21, 1,38, 1,55, 1,90, 2,0, 2,42, 2,59, 2,77 µl/cm<sup>2</sup>) instar foram utilizadas nos bioensaios. Arenas de controle foram pulverizadas com água destilada.

Para cada concentração foram utilizadas oito repetições com 20 indivíduos totalizando 160 ninfas de terceiro e quarto instar por concentração. As ninfas de *A. cocois* pulverizadas foram mantidas a  $25 \pm 2$  °C, sob umidade relativa de  $70 \pm 10\%$  e fotoperíodo de 12 horas. A mortalidade dos dois estágios ninfais foi avaliada após 48 horas de exposição à mistura de óleos essenciais. Os insetos foram considerados mortos quando desidratados ou enrugados, quando apresentavam mudança na coloração, de amarelo pálido para marrom, com ausência de cera branca no corpo (MOTA *et al.*, 2017). Os dados foram submetidos à análise Probit para estimar as concentrações letais usando o procedimento PROB PROBIT (SAS INSTITUTE, 2002).

#### ***4.2.6 Mortalidade, velocidade de desenvolvimento, efeito ovicida e repelência de C. externa expostos a diferentes concentrações da mistura de óleos essenciais***

Para avaliar a seletividade da mistura dos óleos essenciais de *L. sidoidese C. winterianum* a *C. externa* testes de mortalidade, velocidade de desenvolvimento, efeito ovicida e repelência foram realizados. Todos os ensaios foram realizados em laboratório sob condições controladas ( $25 \pm 2$  °C, sob umidade relativa de  $70 \pm 10\%$  e fotoperíodo de 12 h). A toxicidade das CL<sub>50</sub> (1,48 µl/cm<sup>2</sup>), CL<sub>80</sub> (1,67 µl/cm<sup>2</sup>) e CL<sub>99</sub> (2,06 µl/cm<sup>2</sup>) da mistura dos óleos essenciais (*L. sidoidese C. winterianum*) previamente estimadas para o quarto instar de *A. cocois* foram testadas em *C. externa*. As pulverizações foram realizadas através de uma torre de Potter como descrito anteriormente nos ensaios de toxicidade para *A. cocois*. As concentrações letais foram

pulverizadas sobre larvas de primeiro instar de *C. externa* (24 h de idade) individualizadas em placas de Petri (5 cm<sup>2</sup> de diâmetro), para o controle foi pulverizada água destilada. Vinte repetições (insetos) foram usadas para cada concentração letal, após a pulverização, todas as larvas de *C. externa* foram transferidas para tubos de ensaio (8 cm de altura x 3 cm de diâmetro). Ovos de *A. kuehniella* foram fornecidos *ad libitum* como fonte de alimento a *C. externa*. Foram considerados mortos insetos imóveis ao toque de um pincel (CASTILHOS; GRÜTZMACHER; COATS, 2018) ou ressecados após 48 h de exposição. Larvas de *C. externa* sobreviventes foram acompanhados diariamente até a fase adulta. A duração das fases larvais e pupais de *C. externa* foram contabilizadas diariamente. Os dados de mortalidade de *C. externa* foram submetidos à análise de regressão usando o software SAS (SAS INSTITUTE, 2002). Para comparar a velocidade de desenvolvimento de *C. externa* sob diferentes concentrações letais e controle foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis usando o software SAS (SAS INSTITUTE, 2002).

Para verificar o efeito ovicida da mistura dos óleos essenciais (*L. sidoidese C. winterianum*) em *C. externa*, as CL<sub>50</sub> (1,48 µl/cm<sup>2</sup>), CL<sub>80</sub> (1,67 µl/cm<sup>2</sup>) e CL<sub>99</sub> (2,06 µl/cm<sup>2</sup>) previamente estimadas para o quarto instar de *A. cocois* foram utilizadas. As pulverizações foram realizadas com torre de Potter sobre ovos com 24 h de idade, individualizados em placas de Petri (5 cm<sup>2</sup> de diâmetro). No controle foi pulverizada água destilada. Quarenta repetições (ovos) foram usadas por concentração letal, após a pulverização os ovos foram individualizados em tubos de ensaio (8 cm de altura x 3 cm de diâmetro). O número de ovos eclodidos e não eclodidos por concentração letal foram contabilizados após quatro dias de exposição. Os dados foram submetidos à análise de regressão usando o software SAS (SAS INSTITUTE, 2002).

Avaliou-se ainda a atividade de repelência da mistura dos óleos essenciais de *L. sidoidese C. winterianum* sobre *C. externa*, este ensaio foi conduzido como descrito previamente por Oliveira et al., (2017). As CL<sub>50</sub> e CL<sub>99</sub> (1,48 µl/cm<sup>2</sup> e 2,06 µl/cm<sup>2</sup>) estimadas anteriormente para o quarto instar de *A. cocois* foram pulverizadas através de uma torre de Potter em arenas de 5 cm<sup>2</sup> de diâmetro confeccionadas com PVC. Para manter um lado da arena sem óleo, duas camadas de fita adesiva impermeável foram postas na metade dos discos antes da pulverização, posteriormente a fita foi removida dos discos e esses foram secos ao ar livre por 30 min. Os discos foram colocados para flutuar sobre água destilada em placas de Petri sem tampa (7 cm<sup>2</sup>), cada disco teve um orifício central para a passagem de um alfinete entomológico preso ao fundo da placa com o auxílio de uma cola à base de silicone, permitindo que os discos se movimentassem de acordo com o nível da água. Uma peça de PVC (3 x 1 mm) foi inserida no centro dos discos entre os lados tratados com a mistura de óleo e não tratados e serviu como um ponto neutro. Larvas de primeiro instar de *C. externa* com 24h de idade foram colocadas

individualmente sobre a peça de PVC. Ovos de *A. kuehniella* foram fornecidos *ad libitum* nos dois lados (tratados e não tratados) sobre uma peça de PVC (3 x 1 mm) para evitar contaminação e interferência na preferência de *C. externa*. A posição da larva de 1º instar de *C. externa* foi contabilizada após 1h, 3h e 24h de exposição. Para cada CL do produto, foram realizadas 20 repetições (larvas). Para comparar as porcentagens de larvas de primeiro instar de *C. externa*, que escolheram as metades pulverizadas e não-pulverizadas dos discos de PVC, foram usadas análises de frequência pelo teste do Qui-quadrado e o software PROC FREQ SAS (SAS INSTITUTE, 2002).

### 4.3 Resultados

#### 4.3.1 Composição química dos óleos essenciais

As análises químicas dos óleos essenciais de *L. sidoides* e *C. winterianus* revelaram que ambos são compostos por terpenoides, especialmente monoterpenos. O óleo essencial de *L. sidoides* é constituído majoritariamente por timol (71,54%) e *p*-cymene (11,41%). Em contraste, no óleo de *C. winterianus* monoterpenos citronelal (35,39%), geraniol (28,63%) e citronelol (11,15%) representaram 75% da composição volátil (Tabela 1).

**Tabela 1.** Composição dos óleos essenciais de folhas de *L. sidoides* e *C. winterianus* caracterizadas por GC/EM.

Componente	IR <sub>lit</sub> <sup>1</sup>	<i>L. sidoides</i>		<i>C. winterianus</i>	
		IR <sub>calc</sub> <sup>2</sup>	%	IR <sub>calc</sub> <sup>2</sup>	%
$\alpha$ -Thujene	924	925	0,24	-	-
$\alpha$ -Pinene	932	932	0,44	-	-
$\beta$ -Pinene	974	977	0,11	-	-
Myrcene	988	987	2,03	987	0,07
$\alpha$ -Phellandrene	1002	1004	0,06	-	-
$\delta$ 3-carene	1008	1010	0,13	-	-
<i>p</i> -cymene	1022	1022	11,41	-	-
Limonene	1024	1026	0,53	1026	2,18
Eucalyptol	1031	1029	0,45	-	-
(Z)- $\beta$ -Ocimene	1032	1032	0,07	-	-
(E)- $\beta$ -Ocimene	1044	1043	0,06	-	-
$\gamma$ -Terpinene	1054	1055	1,19	-	-
trans-	1065	1064	0,08	-	-
Sabinenehydrate					
Terpinolene	1086	1087	0,14	-	-
Linalool	1095	1097	0,29	1096	0,55
Isopulegol	1145	-	-	1143	0,97

Citronellal	1148	-	-	1150	35,39
Terpinen-4-ol	1174	1175	0,81	-	-
p-Cymen-8-ol	1179	1183	0,12	-	-
$\alpha$ -Terpineol	1186	1189	0,17	-	-
Decanal	1201	-	-	1203	0,06
Citronellol	1223	-	-	1225	11,15
Thymolmethylether	1232	1231	1,23	-	-
$\beta$ -Citral	1235	-	-	1238	0,55
Geraniol	1249	-	-	1253	28,63
Thymol	1289	1292	71,54	-	-
Citronellylacetate	1350	-	-	1349	0,66
$\alpha$ -Copaene	1374	1373	0,18	-	-
Geranylacetate	1379	-	-	1380	1,15
$\beta$ -Elemene	1389	-	-	1389	0,9
Caryophyllene	1417	1417	4,32	-	-
Aromandendrene	1439	1436	0,35	-	-
$\alpha$ -Humulene	1452	1451	0,3	1451	0,06
Alloaromadendrene	1458	1458	0,04	-	-
$\gamma$ -Muurolene	1478	1473	0,07	1478	1,09
Viridiflorene	1496	1492	0,33	-	-
epi-cubedol	1493	1497	0,06	-	-
$\alpha$ -Muurolene	1500	-	-	1497	0,21
$\alpha$ -Bulnesene	1509	-	-	1502	0,3
$\beta$ -Bisabolene	1505	1505	0,07	-	-
$\delta$ -Cadinene	1522	1520	0,17	1520	1,2
Elemol	1548	-	-	1546	5,57
Caryophyllene oxide	1582	1580	0,69	-	-
$\gamma$ -Eudesmol	1630	-	-	1628	1,44
$\alpha$ -epi-Cadinol	1638	-	-	1639	1,46
Cubenol	1645	-	-	1643	0,28
Agarospirol	1646	-	-	1647	0,4
$\alpha$ -Cadinol	1652	-	-	1651	2,4

<sup>1</sup>Índice de retenção da literatura (Adams, 2009).

<sup>2</sup>Índice de retenção calculado.

#### 4.3.2 Toxicidade do produto a base de óleos essenciais a *A. cocois*

Os dados das curvas de concentração-mortalidade da mistura dos óleos essenciais de *L. sidoidese C. winterianus* para ninfas de terceiro e quarto instar de *A. cocois* mostraram altos valores de P (= 0,13 e 0,40, respectivamente), indicando a adequação do modelo Probit. As  $CL_{50}$  estimadas para o terceiro e quarto estagioninfal de *A. cocois* foram de 0,97  $\mu\text{L}/\text{cm}^2$  (19,14  $\mu\text{L}/\text{mL}$ ) e de 1,48  $\mu\text{L}/\text{cm}^2$  (29,01  $\mu\text{L}/\text{mL}$ ), respectivamente. Com base na razão de toxicidade a

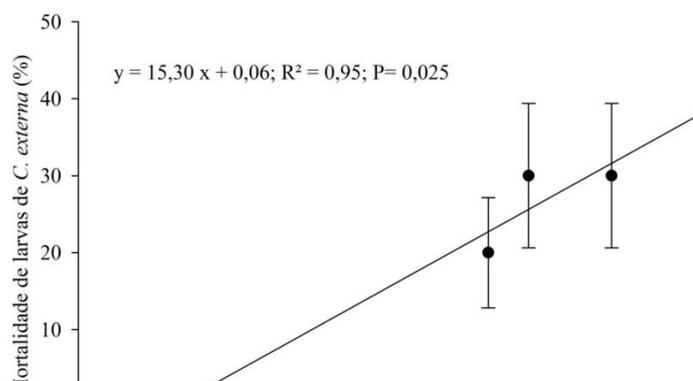
CL<sub>50</sub> estimada para o quarto instar de *A. cocois*, foi aproximadamente 1,5 vezes maior do que a CL<sub>50</sub> estimada para o terceiro instar (Tabela 2).

**Tabela 2.** Concentrações letais (CL) ( $\mu\text{L}/\text{cm}^2$  e  $\mu\text{L}/\text{mL}$ , com 95% de intervalo de confiança entre parênteses) da combinação dos óleos essenciais de *L. sidoidese C. winterianus* para o terceiro e quarto estágio ninfal de *A. cocois* baseados em bioensaios de concentração e mortalidade.

Estágio ninfal de <i>A. cocois</i>	Slope $\pm$ SE	CL	$\mu\text{L}/\text{cm}^2$ (IC)	$\mu\text{L}/\text{mL}$ (IC)
Terceiro instar ( $\chi^2 = 4,07$ ; n = 256, g.l = 2; P = 0,13)	0,42 $\pm$ 0,09	CL <sub>10</sub>	0,68 (0,60 – 0,74)	13,43 (11,87 – 14,55)
		CL <sub>25</sub>	0,81 (0,75 – 0,85)	15,89 (14,70 – 16,78)
		CL <sub>50</sub>	0,97 (0,93 – 1,02)	19,14 (18,25 – 20,11)
		CL <sub>80</sub>	1,23 (1,15 – 1,36)	24,15 (22,62 – 26,64)
		CL <sub>99</sub>	1,85 (1,62 – 2,32)	36,40 (31,71 – 45,56)
Quarto instar ( $\chi^2 = 1,86$ ; n = 216, g.l = 2; P = 0,40)	3,71 $\pm$ 0,46	CL <sub>10</sub>	1,23 (1,16 – 1,28)	24,12 (22,70 – 25,10)
		CL <sub>25</sub>	1,34 (1,29 – 1,38)	26,32 (25,34 – 27,11)
		CL <sub>50</sub>	1,48 (1,44 – 1,53)	29,01 (28,20 – 29,98)
		CL <sub>80</sub>	1,67 (1,60 – 1,77)	32,74 (31,44 – 34,85)
		CL <sub>99</sub>	2,06 (1,91 – 2,35)	40,54 (37,45 – 46,22)

#### 4.3.3 Mortalidade, velocidade de desenvolvimento, efeitoovicida e repelência de *C. externa* expostos a diferentes concentrações da mistura de óleos essenciais

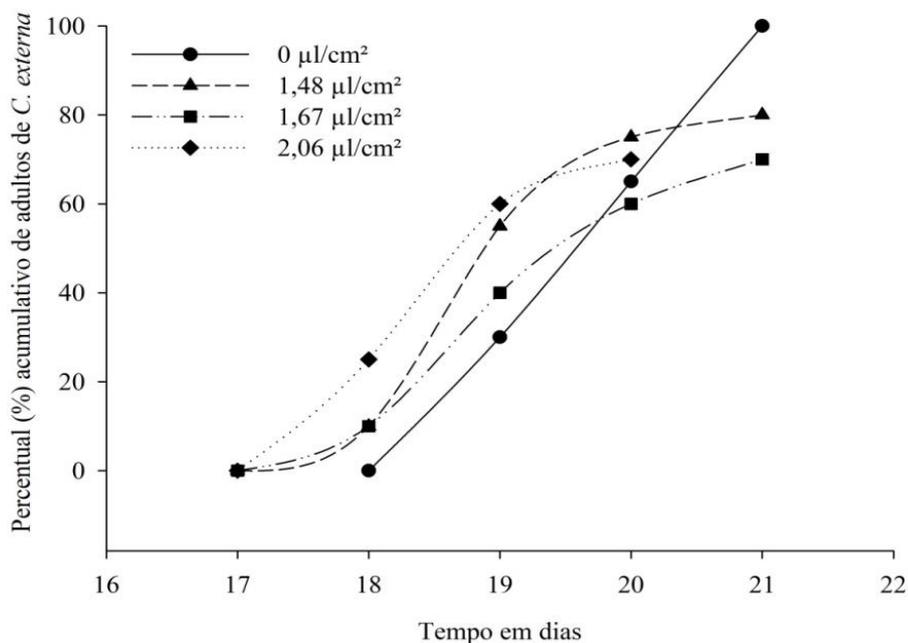
O percentual de larvas de 1º instar de *C. externa* mortas cresceu linearmente com o aumento da concentração da mistura dos óleos essenciais (*L. sidoidese C. winterianus*) (P = 0,025). O maior número de larvas de 1º instar de *C. externa* mortas foi encontrado nas CL<sub>80</sub> e CL<sub>99</sub> estimadas para o quarto instar de *A. cocois*. No entanto, todas as concentrações testadas infligiram uma menor mortalidade ao predador em comparação com a praga *A. Cocois* (Tabela 2), nunca matando mais de 30% da população de *C. externa* mesmo na maior concentração letal (CL<sub>99</sub>) (Figura 1).



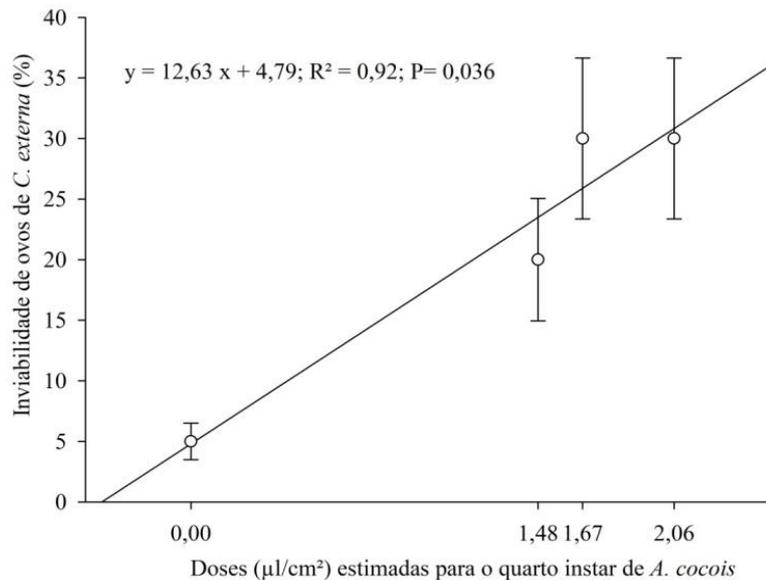
**Figura 1.** Mortalidade de *C. externa* expostas as concentrações letais da mistura dos óleos essenciais de *L. sidoidese* *C. winterianus* (CL<sub>50</sub>, CL<sub>80</sub> e CL<sub>99</sub>) estimadas para o quarto estágio ninfal de *A. cocois*. A dose 0 corresponde a pulverização com água destilada (Controle). O período de exposição foi de 48 horas. Cada ponto corresponde à média de 20 repetições enquanto que barras correspondem ao erro padrão.

O tempo de desenvolvimento (larva-adulto) de *C. externa* não foi alterado quando exposto a diferentes concentrações letais da mistura de óleos essenciais ( $P = 0,66$ ). O período necessário para *C. externa* completar seu desenvolvimento até a fase adulta foi de  $20,05 \pm 0,18$  dias, no controle, estatisticamente semelhante ao período observado quando o inseto foi exposto as CL<sub>50</sub>, CL<sub>80</sub> e CL<sub>99</sub> estimadas para o quarto instar de *A. cocois* ( $19,66 \pm 0,22$ ;  $19,95 \pm 0,23$  e  $19,19 \pm 0,17$  dias respectivamente;  $P > 0,05$ ) (Figura 2).

O número de ovos inviáveis de *C. externa* cresce linearmente com o aumento da concentração da mistura dos óleos essenciais (*L. sidoidese* *C. winterianus*) ( $P = 0,036$ ). No entanto, para todas as concentrações testadas o valor percentual de ovos inviáveis do predador não foi superior a 30% (Figura 3).

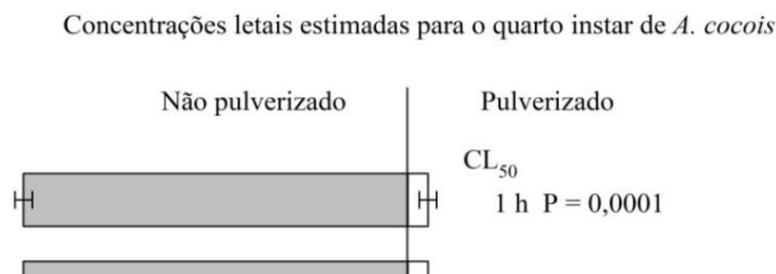


**Figura 2.** Velocidade de desenvolvimento (dias) e percentual acumulativo de adultos (%) de *C. externa* expostos as concentrações letais da mistura dos óleos essenciais de *L. sidoidese* *C. winterianus* (CL<sub>50</sub>, CL<sub>80</sub> e CL<sub>99</sub>) estimadas para o quarto estágio ninfal de *A. cocois*. A dose 0 corresponde a pulverização com água destilada (Controle).



**Figura 3.** Inviabilidade de ovos de *C. externa* expostos as concentrações letais da mistura dos óleos essenciais de *L. sidoidese* *C. winterianus* (CL<sub>50</sub>, CL<sub>80</sub> e CL<sub>99</sub>) estimadas para o quarto estágio ninfal de *A. cocois*. A dose 0 corresponde a pulverização com água destilada (Controle). O período de exposição foi de 4 dias. Cada ponto corresponde à média de 40 repetições enquanto que barras correspondem ao erro padrão.

Independente da concentração letal e tempo de exposição, a mistura dos óleos essenciais de *L. sidoidese* *C. winterianus* foi considerada repelente a *C. externa* ( $P < 0,05$ ). A CL<sub>99</sub> estimada para o quarto instar de *A. cocois* foi capaz de repelir 100% dos indivíduos de *C. externa* mesmo após 24h de exposição a mistura de óleos (Figura 4).



**Figura 4.** Resposta (%) do predador *C. externa* nas metades de disco que não foram pulverizadas (barras cinzas) ou pulverizadas (barras brancas) com a mistura dos óleos essenciais de *L. sidoidese C. winterianus*, nas suas CL<sub>50</sub> e CL<sub>99</sub> estimadas para o quarto instar de *A. cocois*. O período de exposição foi de 1h, 3h e 24 h. Cada barra corresponde à média de 20 repetições enquanto barras de erro correspondem ao erro padrão. Os níveis de significância são baseados em análises de frequência.

#### 4.4 Discussão

O uso de óleos essenciais de plantas é uma alternativa viável aos químicos no controle de moscas-brancas e apresentam baixo risco a saúde humana (ISMAN; MIRESMAILLI; MACHIAL, 2011; BALDIN *et al.*, 2015; ZANDI-SOHANI *et al.*, 2018). Segundo Benelli *et al.* (2017), misturas binárias de óleos essenciais de diferentes espécies de plantas pode potencializar o seu efeito tóxico contra insetos-praga. Neste estudo, os resultados demonstraram que a mistura dos óleos essenciais de *L. sidoides* e *C. winterianum* foi tóxica aos dois estágios ninfais de *A. cocois* e apresentaram uma considerável seletividade ao seu predador *C. externa*.

As análises químicas dos óleos revelaram altas concentrações de terpenóides, em especial monoterpenos, que são compostos químicos biologicamente ativos contra aleirodideos

(CHAE *et al.*, 2014; MAHMOODI; VALIZADEGAN, 2014; BALDIN *et al.*, 2015; DELETRE *et al.*, 2016). Dentre esses, timol,  $\rho$ -cymene, citronelal, citronelol e geraniol foram mais representativos, e podem estar relacionados com a mortalidade de *A. cocois* registrada no presente trabalho. Da mesma forma, a mortalidade de *Bemisiatabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) biótipo Q exposta ao óleo essencial de *C. winterianum* foi atribuída ao sinergismo de citronelal, citronelol e geraniol (DELETRE *et al.*, 2016). Adicionalmente, aplicações isoladas de citronelal, citronelol, geraniol e timol demonstraram efeitos tóxicos a *B. tabaci* biótipos B e Q (CHAE *et al.*, 2014; BALDIN *et al.*, 2015). Além disso, alta concentração de timol (50,07%) no óleo essencial de *Carumcopticum* L. (Apiaceae) mostrou efeito tóxico contra *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) (MAHMOODI; VALIZADEGAN, 2014). Embora os mecanismos de ação de determinados monoterpenos ainda não sejam muito bem esclarecidos, foi proposto que nos insetos timol e geraniol podem inibir a síntese da acetilcolinesterase, esse último comprovado para *B. tabaci* (JUKIC *et al.*, 2007; ZARRED *et al.*, 2017). O timol pode agir ainda como um modulador alostérico positivo dos receptores do GABA (ácido gama-aminobutyric), levando o inseto a morte por inibição do sistema nervoso (TONG; CASACOS, 2010). Apesar das evidências, novos estudos devem ser conduzidos para entender como a mistura dos óleos de *L. sidoides* e *C. winterianum* e seus constituintes podem ter exercido ação sobre *A. cocois*, já que a bioatividade dos óleos essenciais pode ser atribuída a um composto majoritário ou ao antagonismo/sinergismo desse com compostos secundários (ISMAN; MIRESMAILLI; MACHIAL, 2011; DELETRE *et al.*, 2015, 2016).

Está bem estabelecido que o timol pode atingir os tecidos sensíveis do sistema nervoso central dos insetos mesmo quando aplicado de forma tópica, especialmente na presença de  $\rho$ -cymene (WALIWITIYA *et al.*, 2010; TAK; ISMAN, 2017). Esta ação é resultado da capacidade que os monoterpenos tem de se difundir pela membrana celular e penetrarem na cutícula dos insetos (BAKKALI *et al.*, 2008; TAK; ISMAN, 2015). Neste estudo, verificou-se uma toxicidade diferencial entre as  $CL_{50}$  estimadas para os dois estágios ninfais de *A. cocois*, indicando menor sensibilidade do quarto instar dessa praga à mistura dos óleos essenciais avaliados. Diferenças cuticulares podem explicar parcialmente este resultado, pois no quarto instar dos aleirodídeos uma camada de cera mais espessa no tegumento dificulta a ação de inseticidas sintéticos (WANG *et al.*, 2003) e botânicos (PINHEIRO *et al.*, 2009). Este achado poderia ter implicações práticas para o manejo das populações de *A. cocois*, sugerindo o controle dessa praga nas fases iniciais de colonização no cajueiro.

Em todas as concentrações avaliadas a mistura dos óleos essenciais de *L. sidoides* e *C. winterianum* causou baixa mortalidade de *C. externa* e não alterou seu tempo de desenvolvimento (nínfa-adulto), o que poderia beneficiar este inimigo natural nos plantios de cajueiro. De fato, essa espécie de crisopídeo caracteriza-se por ser tolerante a pesticidas de origem sintética (MOURA *et al.*, 2010; GODOY *et al.*, 2011; CASTILHOS *et al.*, 2014); e um estudo recente revelou que óleos essenciais de plantas (*Amyrisbalsamifera* L., Rutaceae; *Origanumvulgare* L., Lamiaceae; *Thymusvulgaris* L., Lamiaceae) e alguns terpenoides, a exemplo timol, são relativamente seletivos para este inimigo natural (CASTILHOS; GRÜTZMACHER; COATS, 2018). Mecanismos de desintoxicação metabólica podem estar relacionados com a maior tolerância de *C. externa* em comparação com sua presa, *A. cocois*. A capacidade de desintoxicar aleloquímicos nos insetos inclui atividades de monooxigenases do citocromo p450, esterases e várias transferases (LI; SCHULER; BERENBAUM, 2007). Em crisopídeos, atividades superiores da enzima fosfatase ácida estão envolvidas na desintoxicação de inseticidas botânicos, como o óleo de nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) (SCUDELER *et al.*, 2017).

A viabilidade dos ovos de *C. externa* não foi significativamente afetada pelas diferentes concentrações da mistura dos óleos essenciais testadas. Esse resultado é corroborado por diversos estudos que verificaram pouco ou nenhum efeito tóxico de inseticidas sobre os ovos dessa espécie de crisopídeo (MOURA *et al.*, 2010; CASTILHOS *et al.*, 2014; PASINI *et al.*, 2018; SOARES; CARVALHO, 2018). Isso provavelmente decorre da baixa penetração desses compostos, que não conseguem vencer a proteção do córion, conhecida como a principal barreira dos ovos de insetos contra os agrotóxicos (CASTILHOS *et al.*, 2014; SOARES; CARVALHO, 2018). Outro fator a ser considerado é que a atividade ovicida de alguns terpenoides presentes nos óleos essenciais de *L. sidoides* e *C. winterianum* pode variar de acordo com a espécie de inseto. Por exemplo, embora timol, citronelol e geraniol sejam considerados tóxicos contra ovos de *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae) (TABARI *et al.*, 2017) e *Chilo leishmanioses* (Swinhoe) (Lepidoptera: Pyralidae) (SINGH *et al.*, 2011), esses mesmos monoterpenos não reduziram de forma significativa as eclosões de ovos de *Pediculus humanus capitis* De Geer (Phthiraptera: Pediculidae) (TOLOZA; VASSENA; PICOLLO, 2008). Um decréscimo de 30% nas eclosões dos ovos de *C. externa* na CL<sub>80</sub> e CL<sub>99</sub> pode ser devido ao maior acúmulo de óleo essencial na superfície dos ovos, pois resíduos de óleos sobre os ovos deste predador podem bloquear as aberturas do córion e dificultar trocas gasosas com consequências no desenvolvimento do embrião (CASTILHOS *et al.*, 2014). Este problema

pode ser contornado ao se aplicar em condições de campo concentrações letais menores estimadas para o terceiro (CL<sub>50</sub>-CL<sub>80</sub>) e quarto instar (CL<sub>50</sub>) de *A. cocois*.

Apesar da baixa toxicidade e atividade ovicida, a combinação dos óleos essenciais de *L. sidoides* e *C. winterianum* foi repelente para *C. externa*. Isso pode ser reflexo de sinais químicos emitidos pela volatilização de alguns monoterpenos presentes na mistura de óleos e detecção dessas substâncias pelo inimigo natural, levando-o a se afastar da área tratada. De fato, larvas de *C. externa* podem se guiar por pistas químicas, sendo capazes de distinguir e selecionar os sinais voláteis de plantas infestadas ou não por suas presas (STRAPASSON *et al.*, 2014). Desta forma, a ação repelente da mistura dos óleos essenciais de *L. sidoides* e *C. winterianum* sob diferentes concentrações (CL<sub>50</sub>-CL<sub>99</sub>) e tempos de exposição (1h e 24h) registrada no presente trabalho, pode ter relação com a alta quantidade de timol, citronelal, citronelol e geraniol, pois os vapores desses compostos foram mostrados para repelir insetos (PARK *et al.*, 2005; PANDEY; UPADHYAY; TRIPATHI, 2009; DELETRE *et al.*, 2015, 2016).

#### 4.5 Conclusão

Diante do exposto, conclui-se que a mistura dos óleos essenciais de *L. sidoides* e *C. winterianum* é tóxica aos dois estágios ninfais de *A. cocois* testados e apresenta moderada seletividade ao predador *C. externa*.

### 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Os clones de cajueiro anão EMBRAPA 51 e CCP 76 são mais susceptíveis à infestação de *A. cocois* em relação ao PRO 143/7, em condição de campo. Ademais, CCP 76 pode ser atraente e, portanto, suscetível a *A. cocois* por apresentar misturas dos compostos voláteis  $\alpha$ -pineno, mirceno, careno  $\delta$ -2, limoneno,  $\alpha$ -copaeno,  $\beta$ -cariofileno,  $\beta$ -ocimeno, alo-ocimeno e neo -alo-ocimeno em proporções adequadas e para liberação de compostos exclusivos como, o-cimeno e 2,6-dimetil-1,3,5,7-octatetraeno, (E, E) -;
- O predador generalista *C. externa* pode ser eficaz no controle da mosca-branca *A. cocois* na cultura do cajueiro, especialmente em baixa densidade populacional da praga. Além disso, larvas de terceiro instar de *C. externa* usam voláteis de cajueiros

infestados por *A. cocois* para localizar suas presas ( $\beta$ -cariofileno,  $\alpha$ -copaeno, *alo*-ocimeno, neo-*alo*-ocimeno,  $\gamma$ -muuroleno,  $e\delta$ -cadineno);

- A mistura dos óleos essenciais de *L. sidoides* e *C. winterianum* é tóxica aos dois estágios ninfais de *A. cocois* testados e apresenta moderada seletividade ao predador *C. externa*.

## REFERÊNCIAS

ABDULLAH, S. M. *et al.* Assessment of *Ocimum basilicum* as potentially fruit flies attractant. **Journal of Agronomy Research**, [s.l], v. 2, n. 4, p. 34, 2020.

ADAMS, R. P. Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry. **Allured Publishing Corp**, [s.l], v.456, n.1, p. 256 -259, 2007.

AGROFIT - **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários** - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Coordenação Geral de Agrotóxicos e Afins/DFIA/DAS, 2019. Disponível em: [http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons). Acesso em: 02 fev.2019.

AGROFIT - **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários** - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Coordenação Geral de Agrotóxicos e Afins/DFIA/DAS, 2022. Disponível em: [http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons). Acesso em: 25 Jan. 2022.

ALBUQUERQUE, G. S. *et al.* ***Chrysoperla externa* and *Ceraeochrysa* spp.: potential for biological control in the New World tropics and subtropics.** Cambridge: Cambridge University Press, [s.l], v.2, n 1, p. 145-186, 2001.

ALBUQUERQUE, Gilberto S.; TAUBER, Catherine A.; TAUBER, Maurice J. Crisopídeo verde (Neuroptera: Chrysopidae): estilo de vida predatório. **Bioecologia e nutrição de insetos para o manejo integrado de pragas**, [s.l], v.2, n. 24, p. 594-631, 2012.

ALFAIA, J. P. *et al.* Functional response of the predaceous mites *Amblyseius largoensis* and *Euseius concordis* when feeding on eggs of the cashew tree giant whitefly *Aleurodicus cocois*. **Systematic and Applied Acarology**, [s.l], v. 23, n. 8, p. 1559-1566, 2018.

ALFAIA, J. P. *et al.* Biological performance of the predatory mites *Amblyseius largoensis* and *Euseius concordis* fed on eggs of *Aleurodicus cocois*. **Systematic and Applied Acarology**, [s.l], v. 23, n. 11, p. 2099-2103, 2018.

AUAD, A. M.; FREITAS, S.; BARBOSA, L. R. Tempo de busca e de migração de larvas de *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera, Chrysopidae) alimentadas com *Uroleucon ambrosiae* (Thomas, 1878) (Hemiptera, Aphididae). **Revista Brasileira de Entomologia**, [s.l], v. 46, p. 535-538, 2002.

BACCI, L. *et al.* Toxicity of insecticides to the sweetpotato whitefly (Hemiptera: Aleyrodidae) and its natural enemies. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, [s.l], v. 63, n. 7, p. 699-706, 2007.

BACKER, L. *et al.* *Tuta absoluta*-induced plant volatiles: attractiveness towards the generalist predator *Macrolophus pygmaeus*. **Arthropod-Plant Interactions**, [s.l], v. 9, p. 465-476, 2015.

BAKKALI, F. *et al.* Biological effects of essential oils—a review. **Food and chemical toxicology**, [s.l], v. 46, n. 2, p. 446-475, 2008.

BALDIN, Edson L.L. *et al.* Bioactivity of *Pelargonium graveolens* essential oil and related monoterpenoids against sweet potato whitefly, *Bemisia tabaci* biotype B. **Journal of pest science**, [s.l], v. 88, p. 191-199, 2015.

TOWNSEND, Colin R.; BEGON, Michael; HARPER, John L. **Fundamentos em ecologia**. Artmed Editora, [s.l], 1999.

BENELLI, G. *et al.* Acute larvicidal toxicity of five essential oils (*Pinus nigra*, *Hyssopus officinalis*, *Satureja montana*, *Aloysiacitrodora* and *Pelargonium graveolens*) against the filariasis vector *Culex quinquefasciatus*: Synergistic and antagonistic effects. **Parasitology international**, [s.l], v. 66, n. 2, p. 166-171, 2017.

BIRKETT, M. A. *et al.* Volatiles from whitefly-infested plants elicit a host-locating response in the parasitoid, *Encarsia formosa*. **Journal of chemical ecology**, [s.l], v. 29, p. 1589-1600, 2003.

- BLEEKER, P. M. *et al.* The role of specific tomato volatiles in tomato-whitefly interaction. **Plant Physiology**, [s.l], v. 151, n. 2, p. 925-935, 2009.
- BLEEKER, Petra M. *et al.* Tomato-produced 7-epizingiberene and R-curcumene act as repellents to whiteflies. **Phytochemistry**, [s.l], v. 72, n. 1, p. 68-73, 2011.
- BLEICHER, E.; MELO, Q. M. S.; FURTADO, I. P. **Sugestões de técnicas de amostragem para as principais pragas do cajueiro**. EMBRAPA-CNPAT. Comunicado Técnico, [s.l], 1993.
- BLEICHER, E.; MELO, Q. M. S. **Artrópodes associados ao cajueiro no Brasil**. EMBRAPA-CNPAT, [s.l], 1996.
- BOIÇA JÚNIOR, A. L. *et al.* *Spodoptera frugiperda* (JE Smith)(Lepidoptera: Noctuidae) in cotton: vertical distribution of egg masses, effects of adult density and plant age on oviposition behavior. **Arquivos do Instituto Biológico**, [s.l], v. 80, p. 424-429, 2013.
- BRAGA SOBRINHO, R. *et al.* **Potencial de óleos essenciais no controle de *Aleurodicuscocois* (Curtis, 1846) em cajueiro**. EMBRAPA-CNPAT, [s.l], 2018.
- BRUCE, T. J.A; PICKETT, J. A. Perception of plant volatile blends by herbivorous insects—finding the right mix. **Phytochemistry**, [s.l], v. 72, n. 13, p. 1605-1611, 2011.
- 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**, [s.l], v. 47, p. 311-317, 2018.
- CASTILHOS, R. V. *et al.* Seletividade de agrotóxicos utilizados em pessegueiro sobre ovos e pupas do predador *Chrysoperla externa*. **Ciência Rural**, [s.l], v. 44, p. 1921-1928, 2014.
- CASTRO, G. A. P. R.; SIQUEIRA FILHO, A. Impactos da mosca-branca na cajucultura Sanjoanense. **Relatório da Prefeitura de São João da Barra, RJ**, [s.l], v. 20, 2006.
- CASTRO L, Mayerly Alejandra; MARTÍNEZ O, John Wilson; DOTOR R, Mónica Yadira. Evaluation of the regulatory effect of *Chrysoperla externa* on whitefly *Trialeurodes vaporariorum* in tomato. **Revista de Ciencias Agrícolas**, [s.l], v. 33, n. 2, p. 43-54, 2016.
- CAVALCANTI, José Jaime Vasconcelos; NETO, FC Vidal; BARROS, L. de M. Avanços, desafios e novas estratégias do melhoramento genético do cajueiro no Brasil. **Melhoramento Genético de Plantas no Nordeste. Embrapa**. Brasília. Brazil, p. 151-174, 2013.
- CHAE, Song-Hwa *et al.* Fumigant toxicity of summer savory and lemon balm oil constituents and efficacy of spray formulations containing the oils to B-and neonicotinoid-resistant Q-biotypes of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). **Journal of economic entomology**, [s.l], v. 107, n. 1, p. 286-292, 2014.
- CHAGNON, Madeleine *et al.* Risks of large-scale use of systemic insecticides to ecosystem functioning and services. **Environmental science and pollution research**, [s.l], v. 22, p. 119-134, 2015.

CLAVIJO M. A.; GERSHENZON, J.; UNSICKER, S. B. Little peaks with big effects: establishing the role of minor plant volatiles in plant–insect interactions. **Plant, cell & environment**, [s.l], v. 37, n. 8, p. 1836-1844, 2014.

COLAZZA, S.; MCELFFRESH, J. S.; MILLAR, J. G. Identification of volatile synomones, induced by *Nezaraviridula* feeding and oviposition on *bean* spp., that attract the egg parasitoid *Trissolcus basalis*. **Journal of chemecology**, [s.l], v. 30, p. 945-964, 2004.

CONAB. **COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO**. 2017- Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em: 06 jun. 2019.

COSTA, S. S. *et al.* Developmental biology and functional responses of *Leucochrysa* (Nodita) *azevedoi* fed with different prey. **Biocontrol Science and Technology**, [s.l], v. 30, n. 1, p. 42-50, 2020.

DARSHANEE, Hewa L.C, *et al.* Volatile-mediated attraction of greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* to tomato and eggplant. **Frontiers in plant science**, [s.l], v. 8, p. 1285, 2017.

DEGEN, T. *et al.* High genetic variability of herbivore-induced volatile emission within a broad range of maize inbred lines. **Plant physiology**, [s.l], v. 135, n. 4, p. 1928-1938, 2004.

DELETRE, E. *et al.* Naturally occurring bioactive compounds from four repellent essential oils against *Bemisiatabaci* whiteflies. **Pest Management Science**, [s.l], v. 72, n. 1, p. 179-189, 2016.

DELETRE, E. *et al.* Electrophysiological and behavioral characterization of bioactive compounds of the *Thymus vulgaris*, *Cymbopogon winterianus*, *Cuminum cyminum* and *Cinnamomum zeylanicum* essential oils against *Anopheles gambiae* and prospects for their use as bednet treatments. **Parasites & vectors**, [s.l], v. 8, p. 1-14, 2015.

DELPHIA, C. M. *et al.* Effects of genetic variation and inbreeding on volatile production in a field population of horsenettle. **International Journal of Plant Sciences**, [s.l], v. 170, n. 1, p. 12-20, 2009.

DU, W. *et al.* A primary screening and applying of plant volatiles as repellents to control whitefly *Bemisiatabaci* (Gennadius) on tomato. **Scientific reports**, [s.l], v. 6, n. 1, p. 1-10, 2016.

EL-SAYED, A. M. *et al.* Floral scent of Canada thistle and its potential as a generic insect attractant. **Journal of Economic Entomology**, [s.l], v. 101, n. 3, p. 720-727, 2008.

ENAN, E. Insecticidal activity of essential oils: octopaminergic sites of action. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, [s.l], v. 130, n. 3, p. 325-337, 2001.

FAN, Li-qing, *et al.* EAG e respostas comportamentais do besouro asiático *Anoplophoraglabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) a voláteis de plantas. **Jornal Chinês de Ecologia**, [s.l], v. 32, n. 1, pág. 142, 2013.

FANCELLI, M. *et al.* SOLF–System for data acquisition in olfactometry bioassays. **Citrus Research & Technology**, [s.l], v. 38, n. 1, p. 95-98, 2017.

FERNANDES, N. *et al.* Volatile organic compounds role in selective pollinator visits to commercial melon types. **Journal of Agricultural Science**, [s.l], v. 11, n. 3, p.93–108. 2019.

FLINT, H. M.; SALTER, S. S.; WALTERS, S. Caryophyllene: an attractant for the green lacewing. **Environmental Entomology**, [s.l], v. 8, n. 6, p. 1123-1125, 1979.

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**, [s.l], v. 29, p. 309-317, 2000.

FREITAS, S.; PENNY, N. D. **greenlacewings (Neuroptera: Chrysopidae) of Brazilian agro-ecosystems**. [s.n], [s.l], 2001.

GANJISAFFAR, F.; PERRING, T. M. Prey stage preference and functional response of the predatory mite *Galendromus flumenis* to *Oligonychus pratensis*. **Biological Control**, [s.l], v. 82, p. 40-45, 2015.

GODOY, M. S. *et al.* Seletividade fisiológica de inseticidas em duas espécies de crisopídeos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l], v. 45, p. 1253-1258, 2010.

GOIANA, E. S. *et al.* Preferência de clones de cajueiro-anão à mosca-branca e distribuição temporal da praga e seu predador. **EMBRAPA-CNPAT**, 2017.

GOIANA, E. S. *et al.* Dwarf-cashew resistance to whitefly (*Aleurodicus cocois*) linked to morphological and histochemical characteristics of leaves. **Pest management science**, v. 76, n. 2, p. 464-471, 2020.

GOIANA, E. S. *et al.* Some biological parameters and colonization of *Aleurodicus cocois* on dwarf-cashew. **EMBRAPA-CNPAT**, [s.l], 2017.

GOIANA, Elaine S.S. *et al.* Dwarf cashew antibiotic and antixenotic resistance to the whitefly *Aleurodicus cocois*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [s.l], v. 92, 2020.

HASSANPOUR, M. *et al.* Functional response of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) to *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae): effect of prey and predator stages. **Insect Science**, [s.l], v. 18, n. 2, p. 217-224, 2011.

HEGDE, M. *et al.* Identification of semiochemicals involved in tritrophic interactions between cotton, *Gossypium hirsutum*, cotton aphids, *Aphis gossypii*, and the predatory lacewing, *Chrysoperla lucasina*. **Journal Chemical Ecology**, [s.l], v. 37, p. 741-750, 2011.

HOLLING, Crawford S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. **The Canadian entomologist**, [s.l], v. 91, n. 7, p. 385-398, 1959.

HOLLING, Crawford Stanley. A resposta funcional de predadores invertebrados à densidade de presas. **As Memórias da Sociedade Entomológica do Canadá**, [s.l], v. 98, n.48, p. 5-86, 1966.

HOLLING, C. S. Principles of insect predation. **Annual review of entomology**, [s.l], v. 6, n. 1, p. 163-182, 1961.

HOROWITZ, Abraham Rami; ISHAAYA, Isaac. Dynamics of biotypes B and Q of the whitefly *Bemisia tabaci* and its impact on insecticide resistance. **Pest management science**, [s.l], v. 70, n. 10, p. 1568-1572, 2014.

IBGE -**INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA**, 2019.  
Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618>. Acesso em: 10 jun. 2019.

ISMAN, M. B.; MIRESMALLI, S.; MACHIAL, C. Commercial opportunities for pesticides based on plant essential oils in agriculture, industry and consumer products. **Phytochemistry Reviews**, [s.l], v. 10, n. 2, p. 197-204, 2011.

JUKIC, M.; POLITEO, O.; MAKSIMOVIC, M.; MILOS, M.; MILOS, M. In vitro acetylcholinesterase inhibitory properties of thymol, carvacrol and their derivatives thymoquinone and thymohydroquinone. **Phytotherapy Research**, [s.l], v. 21, n. 3, p. 259-261, 2007.

JULIANO, S. A. Nonlinear curve fitting: predation and functional response curves. In: **Design and analysis of ecological experiments**. [s.l], Chapman and Hall/CRC, p. 159-182, 2020.

JUMBO, Luis O. Viteri, *et al.* The lacewing *Ceraeochrysa caligata* as a potential biological agent for controlling the red palm mite *Raoiella indica*. **PeerJ**, [s.l], v. 7, p. 7123, 2019.

KERGUNTEUIL, A. *et al.* Characterizing volatiles and attractiveness of five brassicaceous plants with potential for a ‘push-pull’ strategy toward the cabbage root fly, *Delia radicum*. **Journal of chemical ecology**, [s.l], v. 41, p. 330-339, 2015.

LAWS, A. N. Climate change effects on predator–prey interactions. **Current opinion in insect science**, [s.l], v. 23, p. 28-34, 2017.

LAZNIK, Ž.; TRDAN, S. Are synthetic volatiles, typically emitted by insect-damaged peach cultivars, navigation signals for two-spotted lady beetle (*Adalia bipunctata* L.) and green lacewing (*Chrysoperla carnea* [Stephens]) larvae. **Journal of plant diseases and protection**, [s.l], v. 125, p. 529-538, 2018.

LEMAN, A. *et al.* The omnivorous predator *Macrolophus pygmaeus*, a good candidate for the control of both greenhouse whitefly and poinsettia thrips on gerbera plants. **Insect Science**, [s.l], v. 27, n. 3, p. 510-518, 2020.

LI, Shao-Jian, *et al.* Efficiency of plant induced volatiles in attracting *Encarsia formosa* and *Serangium japonicum*, two dominant natural enemies of whitefly *Bemisia tabaci* in China. **Pest management science**, [s.l], v. 70, n. 10, p. 1604-1610, 2014.

- LI, Zhao-Qun *et al.* Distinct binding affinities of odorant-binding proteins from the natural predator *Chrysoperlasinica* suggest different strategies to hunt prey. **Journal of insect physiology**, [s.l], v. 111, p. 25-31, 2018.
- LI, X.; SCHULER, M. A.; BERENBAUM, M. R. Molecular mechanisms of metabolic resistance to synthetic and natural xenobiotics. **Annu. Rev. Entomol.**, [s.l], v. 52, p. 231-253, 2007.
- LI, Y. *et al.* Identification of plant chemicals attracting and repelling whiteflies. **Arthropod-Plant Interactions**, [s.l], v. 8, p. 183-190, 2014.
- LIMA, D. B. *et al.* Acaricides impair prey location in a predatory phytoseiid mite. **Journal of Applied Entomology**, [s.l], v. 141, n. 1-2, p. 141-149, 2017.
- LIMA, Glauber Pacelli Gomes, *et al.* Further insecticidal activities of essential oils from *Lippiasidoides* and *Croton* species against *Aedes aegypti* L. **Parasitology Research**, [s.l], v. 112, p. 1953-1958, 2013.
- LIMA, R. K. *et al.* Chemical composition and fumigant effect of essential oil of *Lippiasidoides* Cham. and monoterpenes against *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera: Tenebrionidae). **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l], v. 35, p. 664-671, 2011.
- LINS, J. C. *et al.* Response of the zoophytophagous predators *Macrolophus pygmaeus* and *Nesidiocoris tenuis* to volatiles of uninfested plants and to plants infested by prey or conspecifics. **BioControl**, v. 59, p. 707-718, 2014.
- LIU, Shu-sheng; COLVIN, John; DE BARRO, Paul J. Species concepts as applied to the whitefly *Bemisia tabaci* systematics: how many species are there. **Journal of Integrative Agriculture**, [s.l], v. 11, n. 2, p. 176-186, 2012.
- LIU, Tong-Xian; STANSLY, Philip A. Insecticidal activity of surfactants and oils against silverleaf whitefly (*Bemisia argentifolii*) nymphs (Homoptera: Aleyrodidae) on collards and tomato. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, [s.l], v. 56, n. 10, p. 861-866, 2000.
- MAHMOODI, L.; VALIZADEGAN, O. Fumigant toxicity of *Carum copticum* L. (Apiaceae) essential oil on *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) adults under greenhouse conditions. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, [s.l], v. 47, n. 11, p. 1291-1302, 2014.
- MAIA, W. J. M. *et al.* Predatory capacity and biological aspects of *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) fed on *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856). **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l], v. 28, p. 1259-1268, 2004.
- MARCO, C. A. *et al.* Características do óleo essencial de capim-citronela em função de espaçamento, altura e época de corte. **Horticultura brasileira**, [s.l], v. 25, p. 429-432, 2007.
- MELO, J. W. S. *et al.* Host finding behaviour of the coconut mite *Aceria guerreronis*. **Experimental and Applied Acarology**, [s.l], v. 64, p. 445-454, 2014.

MESQUITA, A.L.M.; BRAGA SOBRINHO, R. Pragas do cajueiro. In: Araújo, J.P.P. de (Eds.), Agronegócio caju: práticas e inovações. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, Brasília, DF, p. 195–215, 2013.

MICHEREFF, M. F.F, *et al.* Variability in herbivore-induced defencesignalling across different maize genotypes impacts significantly on natural enemy foraging behaviour. **Journal of Pest Science**, [s.l], v. 92, p. 723-736, 2019.

MONTEIRO, N. V. *et al.* Aspectos biológicos de *Chrysoperla externa* visando ao controle biológico da mosca-branca-do-cajueiro. **EMBRAPA-CNPAT**, [s.l], 2021.

MOTA, M. S. C. S. *et al.* Potential of allelochemicals from basil (*Ocimummicranthum*Willd.) to control whitefly (*Aleurodicuscocois* (Curtis 1846)) in cashew nut crop (*Anacardium occidentale* L.). **Allelopathy journal**, [s.l], v. 40, n. 2, p. 197-208, 2017.

MOURA, A. P. *et al.* Selectivity of pesticides used in integrated apple production to the lacewing, *Chrysoperla externa*. **Journal of Insect Science**, [s.l], v. 10, n. 1, p. 121, 2010.

NIEDERBACHER, B.; WINKLER, J. B.; SCHNITZLER, J. P. Volatile organic compounds as non-invasive markers for plant phenotyping. **Journal of experimental botany**, [s.l], v. 66, n. 18, p. 5403-5416, 2015.

NORDLUND, D. A.; MORRISON, R. K. Handling time, prey preference, and functional response for *Chrysoperlarufilabris* in the laboratory. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, [s.l], v. 57, n. 3, p. 237-242, 1990.

NÚÑEZ, E. 2008. Plagas de paltos y citricos en Perú. In: Ripa, R.S.; Larral, P. Manejo de plagas e/n paltos cítricos. **Instituto de Investigaciones Agropecuarias**, Chile, p. 324-364.

NÚÑEZ DEL PRADO, E.; IANNAcone, J.; GÓMEZ, H. Efecto de Dos Hongos Entomopatógenos en el Control de *Aleurodicuscocois* (Curtis, 1846) (Hemiptera: Aleyrodidae). **Chilean journal of agricultural research**, v. 68, n. 1, p. 21-30, 2008.

OLIVEIRA, N. N.F.C. *et al.* Toxicity of vegetable oils to the coconut mite *Aceria guerrerensis* and selectivity against the predator *Neoseiulus baraki*. **Experimental and Applied Acarology**, [s.l], v. 72, p. 23-34, 2017.

OLIVEIRA, S. A. *et al.* Population dynamics of *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) in a silvopastoral system. **International Journal of Biodiversity and Conservation**, v. 4, n. 4, p. 179-182, 2012.

ORTIZ-CARREON, F. R. *et al.* Herbivore-induced volatiles from maize plants attract *Chelonus insularis*, an egg-larval parasitoid of the fall armyworm. **Journal of chemical ecology**, [s.l], v. 45, p. 326-337, 2019.

OZAWA, R. *et al.* Maize plants sprayed with either jasmonic acid or its precursor, methyl linolenate, attract armyworm parasitoids, but the composition of attractants differs. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, [s.l], v. 129, n. 2, p. 189-199, 2008.

PAIVA, J. R. *et al.* Performance of cashew dwarf clones in the semi-arid of the State of Piauí, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, [s.l], v. 39, n. 2, p. 295, 2008.

PALOMARES-PÉREZ, M.; BRAVO-NÚÑEZ, M.; ARREDONDO-BERNAL, H. C. Functional Response of *Chrysoperla externa* (Hagen 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) Fed with *Melanaphissacchari* (Zehntner 1897) (Hemiptera: Aphididae). **Proceedings of the Entomological Society of Washington**, [s.l], v. 121, n. 2, p. 256-264, 2019.

PANDEY, S. K.; UPADHYAY, S.; TRIPATHI, A. K. Insecticidal and repellent activities of thymol from the essential oil of *Trachyspermum mammi* (Linn) Sprague seeds against *Anopheles stephensi*. **Parasitology research**, [s.l], v. 105, p. 507-512, 2009.

PARK, B. S.; CHOI, W. S.; KIM, J. H.; KIM, K. H.; LEE, S. E. Monoterpenes from thyme (*Thymus vulgaris*) as potential mosquito repellents. **Journal of the American Mosquito Control Association**, [s.l], v. 21, n. 1, p. 80-84, 2005.

PARRA, J. R. *et al.* **Controle biológico no Brasil: parasitoides e predadores**. São Paulo: Editora Manole Ltda, 2002. 609 p.

PASINI, R. A. *et al.* Side effects of insecticides used in wheat crop on eggs and pupae of *Chrysoperla externa* and *Eriopis connexa*. **Phytoparasitica**, [s.l], v. 46, p. 115-125, 2018.

PETERSSON, J. An aphid sex attractant. Part 1. Biological Studies. **Entomol Scand**, [s.l], v. 1, p. 63-73, 1970.

PINHEIRO, P. V. *et al.* Toxicity of neem oil to *Bemisia tabaci* biotype B nymphs reared on dry bean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l], v. 44, p. 354-360, 2009.

PINTO-ZEVALLOS, D. M. *et al.* Compostos orgânicos voláteis na defesa induzida das plantas contra insetos herbívoros. **Química Nova**, [s.l], v. 36, p. 1395-1405, 2013.

RAJABASKAR, D. *et al.* Behavioral responses of green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer), to the volatile organic compound emissions from four potato varieties. **American journal of potato research**, [s.l], v. 90, p. 171-178, 2013.

RESENDE, A. L. S. *et al.* Influência de diferentes cultivos e fatores climáticos na ocorrência de crisopídeos em sistema agroecológico. **Arquivos do Instituto Biológico**, [s.l], v. 81, p. 257-263, 2014.

ROBBINS, P. S. *et al.* Volatile profiles of young leaves of *Rutaceae* spp. varying in susceptibility to the Asian citrus psyllid (Hemiptera: Psyllidae). **The Florida Entomologist**, [s.l], v. 95, n. 3, p. 774-776, 2012.

SAAD, Khalid A. *et al.* Aphid-induced defences in chilli affect preferences of the whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). **Scientific Reports**, [s.l], v. 5, n.1, p. 13697, 2015.

SACCHETTI, P. *et al.* Volatile organic compounds emitted by bottlebrush species affect the behaviour of the sweet potato whitefly. **Arthropod-Plant Interactions**, [s.l], v. 9, p. 393-403, 2015.

SADEH, D. *et al.* Whitefly attraction to rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) is associated with volatile composition and quantity. **PLoS One**, [s.l], v. 12, n. 5, p. 177-483, 2017.

SALAMANCA, J. *et al.* Behavioral responses of adult lacewings, *Chrysoperla externa*, to a rose-aphid-coriander complex. **Biological Control**, [s.l], v. 80, p. 103-112, 2015.

SARAIVA, W. V. A. *et al.* Toxic effects of an essential oils mixture on *Aleurodicuscocois* (Hemiptera: Aleyrodidae) and *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae). **Biocontrol Science and Technology**, [s.l], v. 31, n. 5, p. 526-540, 2021.

SARAIVA, W. V. A. *et al.* Attraction of whitefly *Aleurodicuscocois* mediated by cashew volatiles. **Phytoparasitica**, [s.l], v. 50, n. 2, p. 399-410, 2022.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT User's Guide: GLM-VARCOMP**. SAS institute Incorporated, 2008.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT® 15.1 User's Guide**. SAS Institute Incorporated, 2018.

SAS INSTITUTE. **Cary, North Carolina**. SAS Institute Incorporated, 2018.

SCHLAEGER, S.; PICKETT, J. A.; BIRKETT, M. A. Prospects for management of whitefly using plant semiochemicals, compared with related pests. **Pest management science**, [s.l], v. 74, n. 11, p. 2405-2411, 2018.

SCUDELER, E. L. *et al.* Neem oil (*Azadirachta indica* A. Juss) affects the ultrastructure of the midgut muscle of *Ceraeochrysaclaveri* (Navás, 1911) (Neuroptera: Chrysopidae). **Acta Histochemica**, [s.l], v. 119, n. 1, p. 84-91, 2017.

SERRANO, L.A. L.; OLIVEIRA, V.H. Aspectos botânicos, fenologia e manejo da cultura do cajueiro. **Agronegócio caju: práticas e inovações**, [s.l], p. 77-175, 2013.

SHI, X. *et al.* The salicylic acid-mediated release of plant volatiles affects the host choice of *Bemisiatabaci*. **International Journal of Molecular Sciences**, [s.l], v. 17, n. 7, p. 1048, 2016.

SILVA, D. B. *et al.* Attraction of three mirid predators to tomato infested by both the tomato leaf mining moth *Tutaabsoluta* and the whitefly *Bemisiatabaci*. **Journal of chemical ecology**, [s.l], v. 44, p. 29-39, 2018.

SINGH, R. *et al.* Oviposition and feeding behavior of the maize borer, *Chilopartellus*, in response to eight essential oil allelochemicals. **Entomologia experimentalis et applicata**, [s.l], v. 138, n. 1, p. 55-64, 2011.

SMITH, C. M.; CLEMENT, S. L. Molecular bases of plant resistance to arthropods. **Annual review of entomology**, [s.l], v. 57, p. 309-328, 2012.

SOARES, A. F. T.; CARVALHO, G. A. Physiological selectivity of insecticides to eggs and larvae of predator *Chrysoperla externa* (HAGEN)(Neuroptera: Chrysopidae). **Coffee Science**, [s.l], v. 13, n. 3, p. 292 -303, 2018.

SOARES, B. V.; TAVARES-DIAS, M. Espécies de *Lippia* (Verbenaceae), seu potencial bioativo e importância na medicina veterinária e aquicultura. **Biota Amazônia**, [s.l], v. 3, n. 1, p. 109-123, 2013.

SOUSA, A. L.V. *et al.* Behavioral response of the generalist predator *Oriusinsidiosus* to single and multiple herbivory by two cell content-feeding herbivores on rose plants. **Arthropod-plant interactions**, [s.l], v. 14, p. 227-236, 2020.

SOUZA, B.; CARVALHO, C. F. Population dynamics and seasonal occurrence of adults of *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) in a citrus orchard in southern Brazil. **Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae**, [s.l], v. 48, n. 2, p. 301-310, 2002.

SPLIVALLO, R. *et al.* Intraspecific genotypic variability determines concentrations of key truffle volatiles. **New Phytologist**, [s.l], v. 194, n. 3, p. 823-835, 2012.

STRAPASSON, P. *et al.* Enhancing plant resistance at the seed stage: low concentrations of methyl jasmonate reduce the performance of the leaf miner *Tutaabsoluta* but do not alter the behavior of its predator *Chrysoperla externa*. **Journal of chemical ecology**, [s.l], v. 40, p. 1090-1098, 2014.

TABARI, M. A. *et al.* Toxicity of  $\beta$ -citronellol, geraniol and linalool from *Pelargonium roseum* essential oil against the West Nile and filariasis vector *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae). **Research in veterinary science**, [s.l], v. 114, p. 36-40, 2017.

TAK, J.; ISMAN, M. B. Enhanced cuticular penetration as the mechanism of synergy for the major constituents of thyme essential oil in the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. **Industrial Crops and Products**, [s.l], v. 101, p. 29-35, 2017.

TEODORO, A. V. *et al.* Interference of plant fixed oils on predation and reproduction of *Neoseiulus baraki* (Acari: Phytoseiidae) feeding on *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae). **Biological Control**, [s.l], v. 143, p. 104204, 2020.

TOGNI, P. H. B. *et al.* Odour masking of tomato volatiles by coriander volatiles in host plant selection of *Bemisia tabaci* biotype B. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, [s.l], v. 136, n. 2, p. 164-173, 2010.

TOLOZA, A. C.; VASSENA, C.; PICOLLO, M. I. Ovicidal and adulticidal effects of monoterpenoids against permethrin-resistant human head lice, *Pediculus humanus capitis*. **Medical and Veterinary Entomology**, [s.l], v. 22, n. 4, p. 335-339, 2008.

TONG, F. COATS, J. R. Effects of monoterpenoid insecticides on [3H]-TBOB binding in house fly GABA receptor and  $^{36}\text{Cl}^-$  uptake in American cockroach ventral nerve cord. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, [s.l], v. 98, n. 3, p. 317-324, 2010.

TRABOULSI, A. F. *et al.* Insecticidal properties of essential plant oils against the mosquito *Culex pipiens molestus* (Diptera: Culicidae). **Pest management science**, [s.l], v. 58, n. 5, p. 491-495, 2002.

- TRIPATHI, A. K. *et al.* A review on prospects of essential oils as biopesticide in insect-pest management. **Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy**, [s.l], v. 1, n. 5, p. 052-063, 2009.
- TU, H. T.; QIN, Y. C. Repellent effects of different celery varieties in *Bemisiatabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype Q. **Journal of economic entomology**, [s.l], v. 110, n. 3, p. 1307-1316, 2017.
- WANG, K. Y. *et al.* Susceptibility of immature and adult stages of *Trialeurodes vaporariorum* (Hom., Aleyrodidae) to selected insecticides. **Journal of Applied Entomology**, [s.l], v. 127, n. 9-10, p. 527-533, 2003.
- WANJIKU, C. *et al.* Plant volatiles influence the African weaver ant-cashew tree mutualism. **Journal of chemical ecology**, [s.l], v. 40, p. 1167-1175, 2014.
- WASON, E. L.; HUNTER, Mark D. Genetic variation in plant volatile emission does not result in differential attraction of natural enemies in the field. **Oecologia**, [s.l], v. 174, p. 479-491, 2014.
- WEBSTER, B. *et al.* Volatiles functioning s host cues in a blend become nonhost cues when presented alone to the black bean aphid. **Animal Behaviour**, [s.l], v.79, p.451-457, 2010.
- YONEYA, K.; TAKABAYASHI, J. Interaction–information networks mediated by plant volatiles: a case study on willow trees. **Journal of Plant Interactions**, [s.l], v. 8, n. 3, p. 197-202, 2013.
- ZANDI-SOHANI, N. *et al.* Sensitivity of *Bemisiatabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) and the Generalist Predator *Oriusalbidipennis* (Hemiptera: Anthocoridae) to Vapors of Essential Oils. **Journal of Entomological Science**, [s.l], v. 53, n. 4, p. 493-502, 2018.
- ZHENG, L. X.; WU, W. J.; FU, Y. G. ( $\pm$ )-2-Hexanol from *Pterocarpus indicus* leaves as attractant for female *Aleurodicus dispersus* (Hemiptera: Aleyrodidae). **African Entomology**, [s.l], v. 22, n. 2, p. 267-272, 2014.