



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

**WENNER VINICIUS ARAÚJO SARAIVA**

**MECANISMOS DE RESISTÊNCIA DO MELOEIRO AO ÁCARO *Tetranychus urticae*  
Koch (ACARI: TETRANYCHIDAE) E ECOLOGIA QUÍMICA DA INTERAÇÃO  
CAJUEIRO, PRAGA E INIMIGO NATURAL**

**FORTALEZA**

**2024**

WENNER VINICIUS ARAÚJO SARAIVA

MECANISMOS DE RESISTÊNCIA DO MELOEIRO AO ÁCARO *Tetranychus urticae*  
Koch (ACARI: TETRANYCHIDAE) E ECOLOGIA QUÍMICA DA INTERAÇÃO  
CAJUEIRO, PRAGA E INIMIGO NATURAL

Tese 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 Doutor em Agronomia: Fitotecnia. Área de concentração: Entomologia.

Orientador: Dra. Nívia da Silva Dias-Pini

FORTALEZA

2024

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)

---

- S247m Saraiva, Wenner Vinicius Araújo.  
Mecanismos de resistência do meloeiro ao ácaro *Tetranychus urticae* koch (Acari: Tetranychidae) e ecologia química da interação cajueiro, praga e inimigo natural / Wenner Vinicius Araújo Saraiva. – 2024. 68 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2024.  
Orientação: Profa. Dra. Nívia da Silva Dias-Pini.
1. ácaro-rajado. 2. compostos voláteis. 3. crisopídeo. 4. mosca-branca. 5. morfologia da folha. I. Título.  
CDD 630
-

WENNER VINICIUS ARAÚJO SARAIVA

MECANISMOS DE RESISTÊNCIA DO MELOEIRO AO ÁCARO *Tetranychus urticae*  
Koch (ACARI: TETRANYCHIDAE) E ECOLOGIA QUÍMICA DA INTERAÇÃO  
CAJUEIRO, PRAGA E INIMIGO NATURAL

Tese 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 28/02/2024

BANCA EXAMINADORA

---

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

---

Prof.<sup>o</sup>. Dr. Adriano Soares Rêgo  
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

---

Dr.<sup>a</sup>. Ariane Morgana Leal Soares  
Embrapa Agroindústria Tropical

---

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Janaína Marques Mondego  
Instituto Estadual de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IEMA)

---

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Ester Azevedo do Amaral  
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

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 orientação, amizade, todo conhecimento repassado na área de entomologia e disponibilidade em ajudar sempre quando necessário no desenvolvimento de todo o trabalho.

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 eterna orientadora Ester Azevedo do Amaral pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho, pelo incentivo e pela recepção no laboratório da Universidade Estadual do Maranhão para o desenvolvimento dos experimentos.

Aos membros da banca Prof<sup>o</sup>. Dr. Adriano Soares Rêgo, Dr<sup>a</sup>. Ariane Morgana Leal Soares e Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Janaína Marques Mondego pelas contribuições valiosas no presente trabalho.

A 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!

Aos amigos do laboratório de Nutrição de plantas da Universidade Estadual do Maranhão que contribuíram com o desenvolvimento da pesquisa Lincon Matheus Araújo Silva, Karen Alessandra, Vanessa de Araújo Lima. Obrigado por todo apoio.

Aos meus amigos de trabalho do IEMA Rafael Hartley, Gustavo Henrique, Edna Mendes, Juliano dos Santos, Janilma Carvalho, Luciana Tenório, Dorinha Campos, Carla Leal e Renata Chagas pela amizade, força e compreensão nos momentos de escrita do presente trabalho! Obrigado por todos os nossos momentos.

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, Igor Cassiano, Marcelo Saraiva, Anna Isabelle Lima Rolim, Isadora Gomes Vieira. Os momentos em família com todos vocês foram essenciais para seguir em frente nessa caminhada.

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

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

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) e o meloeiro (*Cucumis melo* L.) são frutíferas de importância social e econômica para os agricultores nordestinos de regiões semiáridas. Em ambos os cultivos, os danos ocasionados por insetos-praga estão entre os fatores que mais afetam a produção. Enquanto no cajueiro os danos ocasionados pela mosca-branca *Aleurodicus cocois* causam impactos negativos na produção de castanhas, no meloeiro surtos populacionais de *Tetranychus urticae* podem reduzir os rendimentos dos frutos. Os objetivos deste trabalho foram determinar os aspectos biológicos (taxa de oviposição e crescimento populacional), a preferência alimentar e a relação entre características da morfologia foliar de quatro genótipos de meloeiro e a resistência a *T. urticae*; bem como avaliar a resposta olfativa de *C. externa* aos voláteis do cajueiro induzido pela herbivoria de *A. cocois*, identificar os voláteis do cajueiro induzido pela herbivoria de *A. cocois* e avaliar o desenvolvimento de *C. externa* quando alimentada *A. cocois*. Quanto aos resultados, o meloeiro, nos ensaios com e sem chance de escolha, CNPH 06–1047-343, CNPH 11–1071-43 e CNPH 06-1047-341 apresentaram menor número de ovos de *T. urticae* quando comparados ao híbrido suscetível Goldex. Além disso, nesses genótipos o ácaro sofreu alterações relacionadas ao seu ciclo de desenvolvimento. Dentre os caracteres morfológicos, a densidade de tricomas, a espessura da epiderme e do mesófilo influenciaram na resistência do melão contra *T. urticae*. Além disso, *C. externa* foi atraído e aos voláteis de plantas de cajueiro infestados por *A. cocois*. De acordo com os perfis voláteis analisados  $\alpha$ -felandrene,  $\alpha$ -terpineno,  $\rho$ -mentha-2,4 (8) -dieno,  $\beta$ - caryophyllene e germacrene D foram liberados em grandes quantidades pelo genótipo Embrapa 51 somente após a infestação. Embora o tempo de desenvolvimento e a sobrevivência de alguns estágios imaturos de *C. externa* tenha variado com o tipo de presa, o predador foi capaz de completar seu ciclo de desenvolvimento ovo-adulto quando alimentado com *A. cocois*. Em conclusão, os genótipos CNPH 06–1047-343, CNPH 11–1071-43 e CNPH 06-1047-341 possuem resistência contra *T. urticae*. As maiores espessuras da epiderme e do mesófilo foliar reduzem a viabilidade dos imaturos e a taxa de crescimento populacional de *T. urticae* nesses genótipos. o predador generalista *C. externa* é capaz de distinguir e selecionar plantas do genótipo de cajueiro Embrapa 51 infestadas por *A. cocois* por meio de sinais voláteis. A análise do perfil volátil fornece informações sobre os compostos envolvidos no comportamento de atratividade de *C. externa* a voláteis de Embrapa 51 infestados por *A. cocois* ( $\alpha$ -felandrene,  $\alpha$ -terpineno,  $\rho$ -mentha-2,4 (8) -dieno,  $\beta$ - caryophyllene e germacrene D). Adicionalmente, em condições de laboratório, *C. externa* completa o ciclo de vida quando alimentado com *A. cocois* e com ovos

de *A. kuehniella*. Entretanto, *A. cocois* possibilita um desenvolvimento mais lento e uma menor sobrevivência.

**Palavras-chave:** ácaro-rajado; compostos voláteis; crisopídeo; mosca-branca; morfologia da folha.

## ABSTRACT

The cashew tree (*Anacardium occidentale* L.) and the melon tree (*Cucumis melo* L.) are fruit trees of social and economic importance for northeastern farmers in semi-arid regions. In both crops, damage caused by insect pests is among the factors that most affect production. While in the cashew tree, damage caused by the whitefly *Aleurodicus cocois* causes negative impacts on nut production, in the melon tree, population outbreaks of *Tetranychus urticae* can reduce fruit yields. The objectives of this work were to determine the biological aspects (oviposition rate and population growth), food preference and the relationship between leaf morphology characteristics of four melon genotypes and resistance to *T. urticae*; as well as evaluating the olfactory response of *C. externa* to cashew tree volatiles induced by *A. cocois* herbivory, identifying cashew tree volatiles induced by *A. cocois* herbivory and evaluating the development of *C. externa* when fed *A. cocois*. Regarding the results, the melon tree, in trials with and without choice, CNPH 06–1047-343, CNPH 11–1071-43 and CNPH 06-1047-341 presented a lower number of *T. urticae* eggs when compared to the susceptible hybrid Goldex. Furthermore, in these genotypes the mite underwent changes related to its development cycle. Among the morphological characters, the density of trichomes, the thickness of the epidermis and the mesophyll influenced the resistance of the melon against *T. urticae*. Furthermore, *C. externa* was attracted to cashew plant volatiles infested by *A. cocois*. According to the volatile profiles analyzed  $\alpha$ -felandrene,  $\alpha$ -terpinene,  $\rho$ -mentha-2,4(8)-diene,  $\beta$ -caryophyllene and germacrene D were released in large quantities by the Embrapa 51 genotype only after infestation. Although the development time and survival of some immature stages of *C. externa* varied with the type of prey, the predator was able to complete its egg-adult development cycle when fed on *A. cocois*. In conclusion, the genotypes CNPH 06–1047-343, CNPH 11–1071-43 and CNPH 06-1047-341 have resistance against *T. urticae*. The greater thickness of the leaf epidermis and mesophyll reduces the viability of immatures and the population growth rate of *T. urticae* in these genotypes. the generalist predator *C. externa* is capable of distinguishing and selecting plants of the Embrapa 51 cashew genotype infested by *A. cocois* through volatile signals. The volatile profile analysis provides information on the compounds involved in the attractiveness behavior of *C. externa* to Embrapa 51 volatiles infested by *A. cocois* ( $\alpha$ -felandrene,  $\alpha$ -terpinene,  $\rho$ -mentha-2,4(8)-diene,  $\beta$ -caryophyllene and germacrene D). Additionally, under laboratory conditions, *C. externa* completes the life cycle when fed with *A.*

*cocois* and *A. kuehniella* eggs. However, *A. cocois* allows for slower development and lower survival.

**Palavras-chave:** two-spotted mite; volatile compounds; chrysopid; whitefly; leaf morphology.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	11
2	CAPÍTULO 1 - DESEMPENHO BIOLÓGICO, OVIPOSIÇÃO E PREFERÊNCIA ALIMENTAR DE <i>Tetranychus urticae</i> EM DIFERENTES GENÓTIPOS DE MELÃO.....	16
2.1	Introdução.....	19
2.2	Material e métodos.....	20
2.1.1	<i>Genótipos de melão</i> .....	20
2.2.2	<i>Criação dos ácaros</i> .....	21
2.2.3	<i>Preferência alimentar e oviposição</i> .....	21
2.2.4	<i>Parâmetros biológicos e taxa instantânea de aumento (ri)</i> .....	22
2.2.5	<i>Características morfológicas das folhas</i> .....	22
2.2.6	<i>Análise estatística</i> .....	23
2.3	Resultados.....	24
2.3.1	<i>Preferência alimentar e oviposição</i> .....	24
2.3.2	<i>Parâmetros biológicos e taxa instantânea de aumento (ri)</i> .....	26
2.3.3	<i>Características morfológicas das folhas</i> .....	30
2.4	Discussão.....	34
3	CAPÍTULO 2 – ATRATIVIDADE DE <i>Chrysoperla externa</i> A COMPOSTOS VOLÁTEIS DE CAJUEIRO E SEUS ASPECTOS BIOLÓGICOS VISANDO AO CONTROLE BIOLÓGICO DE <i>Aleurodicus cocois</i> .....	38
3.1	Introdução.....	41
3.2	Material e métodos.....	43
3.2.1	<i>Criação dos insetos predadores e presas</i> .....	43
3.2.2	<i>Multiplicação de plantas para bioensaios de olfatometria</i> .....	43
3.2.3	<i>Bioensaios de olfatometria de C. externa exposta a voláteis de caju não infestado e infestado por A. cocois</i> .....	44
3.2.4	<i>Análise de voláteis das folhas do genótipo do cajueiro pelo método SPME-GC-MS</i> .....	45
3.2.5	<i>Desenvolvimento biológico de C. externa em A. kuehniella e A. cocois</i> .....	46

3.2.6	<i>Análises estatísticas</i> .....	46
3.3	<b>Resultados</b> .....	47
3.3.1	<i>Bioensaios de olfatometria de C. externa exposta a voláteis de caju não infestado e infestado por A. cocois</i> .....	47
3.3.2	<i>Análise dos voláteis das folhas dos genótipos de cajueiro pelo método SPME-GC-MS</i> .....	48
3.3.3	<i>Desenvolvimento biológico de C. externa em A. kuehniella e A. cocois</i> .....	54
3.4	<b>Discussão</b> .....	56
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	60

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa o 3º lugar no ranking dos países mais produtores de fruta no mundo, atrás apenas da China e da Índia. O país detém 4,5% do total da produção mundial, o que representa cerca de 39 milhões de toneladas de frutas produzidas (FAO, 2023). Devido ao grande volume de produção e as extensas áreas cultivadas, a fruticultura possui importância social e econômica no Brasil, pois gera emprego (diretos e indiretos) e renda, especialmente aos agricultores familiares (VIDAL, 2023).

No Brasil as regiões Nordeste (52%) e Sudeste (26%) destacam-se na produção de frutas e juntas são responsáveis por 78% da área cultivada no país (VIDAL, 2021). No Nordeste, a fruticultura está concentrada principalmente na região do Semiárido, que compreende os estados da Bahia, Ceará, Piauí, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe (PONTES; SILVA; SILVA, 2023). Essa região é caracterizada por um clima árido ou semiárido e por possuir períodos prolongados de seca, com chuvas irregulares e escassas. Além disso, o clima semiárido é marcado por elevadas temperaturas, taxas de insolação, e baixa umidade relativa do ar (ZANELLA, 2014). Apesar dos desafios impostos pelo clima semiárido, a fruticultura é uma atividade econômica expressiva nessa região (PONTES; SILVA; SILVA, 2023). Essa situação é uma realidade atual, devido a implantação de grandes infraestruturas hídricas e sistemas de irrigação, que viabilizou a criação de importantes polos de fruticultura, a exemplo dos existentes em Pernambuco, Bahia, Ceará e Rio Grande do Norte (FERREIRA; VIEIRA FILHO, 2021). Além da fruticultura irrigada, existem espécies frutícolas adaptadas às condições climáticas do semiárido, produzidas sob o regime de sequeiro nos períodos de baixa pluviosidade, em localidades da Bahia, Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte (VIDAL, 2023).

Nos polos de irrigação do semiárido diversas espécies de frutas são cultivadas, com destaque para o meloeiro (*Cucumis melo*, L.), que possui grande expressividade em área plantada e alto valor de produção (FERREIRA; VIEIRA FILHO, 2021). Os principais estados produtores de melão no Brasil, são o Rio Grande do Norte, Ceará e a Bahia, que juntos são responsáveis por 87,71% da produção nacional (IBGE, 2023). A fruta é cultivada visando a comercialização “*in natura*” no mercado interno, entretanto, a grande expansão da cultura se deve ao fato de que boa parte da produção é destinada para exportação (GAZZOLA; GRÜNDLING; ARAGÃO, 2020; IBGE, 2023). A grande demanda de países externos pelos frutos de melão brasileiros, tornou o país o segundo maior exportador no cenário internacional no ano de 2020 (GAZZOLA; GRÜNDLING; ARAGÃO, 2020).

Em contraste do que ocorre nos polos de irrigação, o que gera renda no Semiárido na época mais seca do ano são as culturas adaptadas as condições climáticas locais (VIDAL, 2021).

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é cultivado visando, a exploração da amêndoa da castanha, do pedúnculo (pseudofruto comestível) e do líquido da casca da castanha. Dentre os subprodutos, quase toda a receita dos cajucultores se deve à comercialização da amêndoa da castanha, que além de atender o mercado nacional, é destinada ao mercado externo (CAVALCANTE; VIDAL NETO; BARROS, 2013; BRAINER, 2022). Os principais produtores nacionais de caju são o Ceará, onde se encontra mais da metade da área colhida (63,5%), Piauí e Rio Grande do Norte, cujas áreas somam 28,7% (IBGE, 2023).

Apesar das diferenças quanto ao modelo de produção na região semiárida, nos cultivos de cajueiro e meloeiro, os danos ocasionados por insetos-praga estão entre os fatores que mais afetam a produção (MESQUITA; SOBRINHO, 2013; SALVIANO *et al.*, 2017). No cajueiro existem diversas espécies de pragas, dentre essas, a mosca-branca-do-cajueiro *Aleurodicus cocois* (Curtis, 1846) (Hemiptera: Aleyrodidae) é considerada uma das principais por ocasionar grandes prejuízos aos produtores (MESQUITA; SOBRINHO, 2013). Esse inseto possui hábito alimentar polífago, e os adultos possuem coloração branca a amarelo-claro (2,2 mm de comprimento por 4,1 mm de envergadura) (ARRUDA, 1971). Esse inseto possui metamorfose completa (holometabolia), ou seja, passa por diferentes fases durante o ciclo de vida (ovo, ninfa I, II, III e IV, e adulto), além de que os adultos e ninfas possuem características morfológicas totalmente distintas (ARRUDA, 1971). Adultos e ninfas de *A. cocois* se alimentam na face abaxial das folhas do cajueiro, onde succionam a seiva continuamente deixando-as cloróticas e/ou secas em casos severos (GALLO *et al.*, 2002). Durante o processo de alimentação, as ninfas produzem uma substância açucarada (*honeydew*) que em grande quantidade pode formar um sintoma conhecido como “mela” (GALLO *et al.*, 2002; MOTA; MESQUITA, 2018). Além disso, essa substância promove o desenvolvimento do fungo fumagina (*Capnodium* spp.), que recobre toda a folha do cajueiro. Neste caso, a planta tem a fotossíntese prejudicada, o que pode reduzir a produção de castanhas (MOTA; MESQUITA, 2018).

Diferente do cajueiro, os insetos-praga que têm ocasionado os maiores danos no meloeiro são a mosca-minadora *Liriomyza* spp. (Diptera: Agromyzidae), mosca-branca *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) Biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae), e as brocas-das-curcubitáceas *Diaphania nitidalis* (Cramer, 1782) e *Diaphania hyalinata* (L., 1758) (Lepidoptera: Pyralidae) (GALLO *et al.*, 2002; SALVIANO *et al.*, 2017). Embora os insetos sejam considerados as pragas de maior importância, os ácaros também têm potencial de causar danos irreversíveis em plantas de meloeiro (SALVIANO *et al.*, 2017). O Ácaro-rajado, *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Acari: Tetranychidae) é a principal espécie que acomete o meloeiro no Brasil e no mundo (SHOOROEI *et al.* 2013; SALVIANO *et al.*, 2017; XU *et al.*, 2019). *T. urticae* possui

dimorfismo sexual, e as fêmeas adultas (0,46 mm de comprimento) são normalmente maiores que os machos (0,25 mm de comprimento). No geral, esse ácaro apresenta manchas escuras no dorso, uma de cada lado, e possui coloração do corpo que pode variar de verde a vermelho, a depender da alimentação. Seu ciclo de desenvolvimento consiste nas fases de ovo, larva, protocrisalida, protoninfa, deutocrisalida, deutoninfa, teliocrisalida e adulto. Quando adultos *T. urticae* têm a capacidade de produzir teias, que é utilizada por esses organismos para dispersão e/ou proteção dos ovos (MORAES; FLECHTMANN, 2008). Nas plantas de meloeiro *T. urticae* se alimenta na face abaxial das folhas e os sintomas de ataque são torsão, pontuações cloróticas, e queda de folhas. Em casos mais severos, a redução da área foliar pode resultar em redução da produtividade de frutos (SALVIANO *et al.*, 2017).

Independente da cultura, o controle químico é o método mais utilizado pelos agricultores para controlar *A. cocois* no cajueiro e *T. urticae* no meloeiro (MESQUITA; SOBRINHO, 2013; SALVIANO *et al.*, 2017). No cajueiro, há apenas dois produtos químicos registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para o manejo de *A. cocois* no Brasil (AGROFIT, 2023). Entretanto, sabe-se que a baixa diversidade produtos químicos, pode inviabilizar a rotação de inseticidas com diferentes modos ação, com consequências na seleção de insetos resistentes (HOROWITZ; ISHAAYA, 2014). No meloeiro existem 19 acaricidas registrados para o controle de *T. urticae* no Brasil (AGROFIT, 2023). Apesar da maior diversidade de produtos, os produtores tem dificuldade de manejar essa praga, pois devido a aplicações frequentes e em curto espaço de tempo, *T. urticae* desenvolveu resistência à maioria dos ingredientes ativos disponíveis para seu controle (ADESANYA *et al.*, 2021). Assim, é necessário investigar novas alternativas de controle para aumentar as possibilidades de manejo de *A. cocois* em cultivos de cajueiro e de *T. urticae* em meloeiro.

A resistência da planta hospedeira é um método de controle alternativo, de baixo custo, durável e compatível com outros métodos de controle, que pode ser inserido em programas de manejo integrado de pragas (MIP) (BALDIN; VENDRAMIM; LOURENÇÃO, 2019). A resistência das plantas aos herbívoros pode ser classificada em antixenose, antibiose e tolerância. A antixenose refere-se a uma forma de resistência em que a planta não é atraente para o herbívoro, desencorajando-o de se alimentar ou depositar ovos. Na antibiose a planta afeta negativamente a biologia ou a saúde do herbívoro, diminuindo sua sobrevivência, reprodução ou desenvolvimento. Enquanto plantas tolerantes têm a capacidade de suportar danos causados por herbívoros sem sofrer impactos significativos em seu desempenho, crescimento ou reprodução (BALDIN; VENDRAMIM; LOURENÇÃO, 2019). Diferentes mecanismos podem estar associados aos tipos de resistência, dentre os que têm relação com a

antibiose e/ou antixenose destaca-se os fatores morfológicos tais como a densidade de tricomas e a espessura da epiderme e os fatores químicos, como a emissão de compostos orgânicos voláteis (COVs) (BALDIN; VENDRAMIM; LOURENÇÃO, 2019).

Na cultura do meloeiro pesquisas têm sido realizadas para determinar a resistência do tipo antibiose e antixenose de genótipos contra *T. urticae* (SHOOROOEI *et al.* 2013; XU *et al.*, 2019). No geral, genótipos de melão com características de antixenose são menos preferidos pelo ácaro para alimentação e oviposição (SHOOROOEI *et al.* 2013). Quando os genótipos exibem antibiose são observadas alterações no tempo de desenvolvimento dos imaturos, na longevidade e fecundidade dos adultos bem como na taxa de crescimento populacional de *T. urticae* (XU *et al.*, 2019). Fatores morfológicos, químicos e enzimáticos têm sido associados a antibiose e antixenose das plantas contra *T. urticae*. (SEKI, 2016; SHOOROOEI *et al.* 2013; XU *et al.*, 2019). Quanto aos fatores morfolologia da planta hospedeira, a densidade de tricomas, espessura da epiderme e a espessura do mesófilo foliar são mecanismos que podem interferir na na preferência de oviposição alimentação, além de alterar os parâmetros biológicos dos herbívoros (AOYAMA; LABINAS, 2012; SEKI, 2016; XU *et al.*, 2019). No Brasil, existe uma grande diversidade genética de meloeiro (YURI; RESENDE; COSTA, 2020), no entanto, pesquisas que buscam identificar genótipos resistentes a *T. urticae* bem como os mecanismos envolvidos nessa resistência são escassas.

No cajueiro estudos foram realizados para investigar a resistência do tipo antixenose de genótipos contra *A. cocois* no Brasil. Foi comprovado que o genótipo PRO 143/7 é resistente enquanto CCP 76 e EMBRAPA 51 são suscetíveis a praga em condições de campo e de laboratório (GOIANA *et al.*, 2020 ab; SARAIVA *et al.*, 2022). Diversos mecanismos foram avaliados para determinar as causas dessa resistência ou suscetibilidade, no entanto, foi comprovado que os compostos voláteis emitidos a partir das folhas do cajueiro interferem na escolha de *A. cocois* antes mesmo que a praga visualize ou tenha contato com o hospedeiro (GOIANA *et al.*, 2020 ab; SARAIVA *et al.*, 2022). Compostos voláteis são substância químicas produzidas naturalmente pelas plantas que geralmente lhes dão odor e sabor (NIEDERBACHER; WINKLER; SCHNITZLER, 2015). As plantas podem produzir diferentes misturas de compostos voláteis como monoterpenos, sesquiterpenos, aldeídos e voláteis de folha verde (VFFVs) (RAJABASKAR *et al.*, 2013). Esses compostos são utilizados pelos herbívoros para localizar suas plantas hospedeiras e, por isso, podem ser úteis em programas de melhoramento genético vegetal, ao auxiliar na identificação de genótipos resistentes ou suscetíveis a pragas agrícolas (ROBBINS *et al.*, 2012).

Os voláteis das plantas sofrem alterações quantitativas e qualitativas em resposta a infestação dos herbívoros (BINYAMEEN *et al.*, 2021). Essas alterações são resultado de danos ocasionados pelos herbívoros durante o processo de alimentação ou oviposição nas plantas hospedeiras (NIEDERBACHER; WINKLER; SCHNITZLER, 2015). Os voláteis de plantas induzidos por herbívoros (VPIH) atuam na defesa indireta, pois fornecem importantes pistas para os inimigos naturais localizarem suas presas ou hospedeiros nas plantas atacadas (BINYAMEEN *et al.*, 2021). Futuramente acredita-se que versões sintéticas de compostos voláteis induzidos por herbívoros poderão ser utilizadas como substâncias atraentes para os inimigos naturais em áreas agrícolas, com benefícios no controle biológico de artrópodes-praga (PINTO-ZEVALLOS *et al.*, 2013). Portanto, esclarecer quais compostos voláteis são emitidos a partir do cajueiro após a herbivoria por *A. cocois* pode beneficiar o controle biológico da praga.

No cajueiro a fauna de inimigos naturais é diversa, dentre esses, o predador *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) já foi encontrado se alimentando de diferentes fases (ovos, ninfas e adultos) de *A. cocois* em plantas de cajueiro no campo (GOIANA *et al.*, 2017). Devido a adaptação às condições locais, voracidade e facilidade de criação, esse predador é amplamente utilizado em programas de controle biológico nas regiões tropicais (ALBUQUERQUE *et al.*, 2001). Quando um predador é capaz de responder aos compostos voláteis de plantas infestadas, a eficiência desse inimigo natural em localizar sua presa é otimizada (BINYAMEEN *et al.*, 2021). Assim avaliar a capacidade olfativa de *C. externa* aos voláteis de plantas infestadas de genótipos de cajueiro, pode trazer informações que otimize a eficiência desse predador como um inimigo natural de *A. cocois* nos cultivos de cajueiro. Além da capacidade de perceber os compostos voláteis de plantas infestadas, um predador eficiente, para uso em programas de controle de biológico, deve ter a capacidade de predação, e completar seu ciclo de vida a partir do herbívoro presente na planta danificada (LEMAN *et al.*, 2020; SOUSA *et al.*, 2020).

Considerando o exposto objetivou-se neste trabalho determinar os aspectos biológicos (taxa de oviposição e crescimento populacional), a preferência alimentar e a relação entre características da morfologia foliar de quatro genótipos de meloeiro e a resistência a *T. urticae*; bem como avaliar a resposta olfativa de *C. externa* aos voláteis do cajueiro induzido pela herbivoria de *A. cocois*, identificar os voláteis do cajueiro induzido pela herbivoria de *A. cocois* e avaliar o desenvolvimento de *C. externa* quando alimentada *A. cocois*.

**2 CAPÍTULO 1 - DESEMPENHO BIOLÓGICO, OVIPOSIÇÃO E PREFERÊNCIA ALIMENTAR DE *Tetranychus urticae* EM DIFERENTES GENÓTIPOS DE MELÃO**

## RESUMO

O ácaro-rajado *Tetranychus urticae* Koch é uma das pragas mais perigosas para muitas culturas em todo o mundo, incluindo o melão. Aqui, levanta-se a hipótese de que a resistência dos meloeiros à *T. urticae* está associada às características morfológicas das folhas. Determinou-se os aspectos biológicos (taxa de oviposição e crescimento populacional), a preferência alimentar e a relação entre características da morfologia foliar de quatro genótipos de meloeiro e a resistência a *T. urticae*. Nos ensaios com e sem chance de escolha, CNPH 06–1047-343, CNPH 11–1071-43 e CNPH 06-1047-341 apresentaram menor número de ovos de *T. urticae* quando comparados ao híbrido suscetível Goldex. Além disso, foram encontradas alterações no período de incubação dos ovos, desenvolvimento e viabilidade dos imaturos, tempo de desenvolvimento ovo-adulto, bem como no crescimento populacional de *T. urticae* quando o ácaro é obrigado a subsistir em CNPH 06–1047-343, CNPH 11–1071-43 e CNPH 06-1047-341. A microscopia eletrônica de varredura revelou menor densidade de tricomas e maior espessura da epiderme foliar em CNPH 06–1047-343, CNPH 06–1047-341 e CNPH 11–1071-43 e menor no genótipo suscetível. Além disso, a espessura do mesófilo era maior nos genótipos CNPH 06–1047-343 e CNPH 06–1047-341 e menor em CNPH 11–1071-43. Foi possível observar uma correlação positiva e significativa entre a densidade de tricomas com o número de ovos e o *ri* de *T. urticae*. Por outro lado, houve correlação negativa significativa entre as espessuras da epiderme e do mesófilo com a viabilidade das ninfas e o *ri* do ácaro. As características morfológicas das folhas de melão em diferentes genótipos indicam possível associação à resistência à praga *T. urticae*.

**Palavras-chave:** *cucumis melo* L.; morfologia foliar; resistência de plantas; tetranychidae

## ABSTRACT

The two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch is one of the most dangerous pests for many crops around the world, including melons. Here, we hypothesize that the resistance of melon plants to *T. urticae* is associated with the morphological characteristics of the leaves. The biological aspects (oviposition rate and population growth), food preference and the relationship between leaf morphology characteristics of four melon genotypes and resistance to *T. urticae* were determined. In the no-choice trials, CNPH 06–1047-343, CNPH 11–1071-43 and CNPH 06-1047-341 presented a lower number of *T. urticae* eggs when compared to the susceptible hybrid Goldex. Furthermore, we found changes in the incubation period of eggs, development and viability of immatures, egg-adult development time, as well as in the population growth of *T. urticae* when the mite is forced to subsist in CNPH 06–1047-343, CNPH 11–1071-43 and CNPH 06-1047-341. Scanning electron microscopy revealed lower trichome density and greater leaf epidermis thickness in CNPH 06–1047-343, CNPH 06–1047-341 and CNPH 11–1071-43 and lower in the susceptible genotype. Furthermore, mesophyll thickness was greater in genotypes CNPH 06–1047-343 and CNPH 06–1047-341 and lower in CNPH 11–1071-43. We observed a positive and significant correlation between the density of trichomes and the number of eggs and the ri of *T. urticae*. On the other hand, there was a significant negative correlation between the thickness of the epidermis and mesophyll with the viability of the nymphs and the mite's ri. The morphological characteristics of melon leaves in different genotypes indicate a possible association with resistance to the pest *T. urticae*.

**Keywords:** *cucumis melo* L.; leaf morphology; plant resistance; tetranychidae.

## 2.1 Introdução

O ácaro rajado, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), é uma das pragas economicamente mais importantes do mundo (MORAES; FLECHTMANN, 2008; ADESANYA *et al.*, 2021). *T. urticae* alimenta-se de mais de 1.100 espécies de plantas; entre elas há mais de 150 espécies cultivadas, incluindo o melão *Cucumis melo* L. (KHANAMANI *et al.*, 2013). É considerada uma praga nas plantações de melão do Brasil, com populações que ocorrem em surtos episódicos, embora intensos, que causam perda significativa de produtividade, principalmente nas estações mais quentes e secas (SALVIANO *et al.*, 2017).

O principal método de controle de *T. urticae* é químico, com aplicações frequentes de acaricidas (VAN LEEUWEN *et al.*, 2010). No entanto, *T. urticae* desenvolveu rapidamente resistência à maioria dos acaricidas disponíveis para seu controle devido à sua ampla gama de plantas hospedeiras, ciclo de vida curto, alta fecundidade, partenogênese arrenotócica e estratégia de hibernação (ADESANYA *et al.*, 2021). Registros mostram que *T. urticae* desenvolveu resistência a aproximadamente 96 princípios ativos disponíveis para seu controle (ADESANYA *et al.*, 2021). Outras preocupações relativas ao uso indiscriminado de agrotóxicos, além da seleção de pragas resistentes, são a contaminação ambiental, a mortalidade de inimigos naturais e os riscos à saúde humana (GUEDES *et al.*, 2016). Nessas circunstâncias, a adoção da estratégia de manejo integrado de pragas (MIP) envolvendo o uso de genótipos de melão resistentes é uma tática de controle eficiente para o manejo de *T. urticae* (XU *et al.*, 2019).

A identificação de genótipos de melão que expressam características associadas à resistência ao *T. urticae* pode ser valiosa em programas de melhoramento genético e manejo integrado de pragas (MIP) (SHOOROOEI *et al.*, 2013; XU *et al.*, 2019). Apesar da abundância de genótipos de melão disponíveis no Brasil (YURI *et al.*, 2020; BALDIN *et al.*, 2012; OLIVEIRA *et al.* 2021), pouco se sabe sobre sua resistência ao *T. urticae* ou seus respectivos mecanismos de resistência. No entanto, pesquisas mostraram que alguns desses genótipos podem expressar antibiose e antixenose contra outros artrópodes, como *Liriomyza sativae* (Blanchard) (Diptera: Agromyzidae) e *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) (BALDIN *et al.* 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2021, 2022). Entre os genótipos de melão avaliados anteriormente, CNPH 06–1047-343, CNPH 06–1047-341 e CNPH 11–1071-43 repelem a alimentação e a oviposição (antixenose) e reduzem significativamente a viabilidade larval e pupal (antibiose) de *L. sativae* (OLIVEIRA *et al.*, 2021; 2022). Esses genótipos são, portanto, materiais interessantes para investigação em programas de melhoramento genético que buscam resistência do meloeiro a outras pragas, como *T. urticae*.

A resistência de genótipos de outras espécies cultivadas ao ácaro rajado tem sido associada a vários fatores, incluindo aumento da espessura da epiderme e das células do mesofilo foliar, tipo e tamanho dos tricomas, aleloquímicos e ativação enzimática (SHOOROOEI *et al.*, 2013, OLIVEIRA *et al.*, 2018, FÁVARO *et al.*, 2022). Segundo Aoyama; Labinas (2012), o aumento da espessura da epiderme confere rigidez às folhas devido ao aumento do número de microfibrilas de celulose sobrepostas com lignina incorporada. Como *T. urticae* necessita inserir seu estilete profundamente no tecido vegetal para acessar o mesofilo foliar, uma epiderme espessa pode dificultar esse processo aumentando a demanda energética, com consequências como redução na oviposição, preferência alimentar e redução no tempo de sobrevivência (BENSOUSSAN *et al.*, 2016; XU *et al.*, 2019). Além disso, *T. urticae* pode ter dificuldade em se alimentar quando o tecido do mesofilo é muito espesso, o que resulta no aumento da mortalidade e na redução do crescimento populacional (SEKI, 2016); enquanto o aumento do número de tricomas protetores na superfície foliar pode atuar como barreira física ao limitar a mobilidade dos adultos, o que interfere na preferência alimentar e na oviposição (FÁVARO *et al.*, 2022).

Neste trabalho levanta-se a hipótese de que a resistência do melão a *T. urticae* está associada às características morfológicas das folhas. Neste contexto, o objetivo foi determinar os aspectos biológicos (taxa de oviposição e crescimento populacional), a preferência alimentar e a relação entre características da morfologia foliar de quatro genótipos de meloeiro e a resistência a *T. urticae*.

## **2.2 Material e métodos**

### **2.2.1 Genótipos de melão**

Os genótipos de melão utilizados foram cedidos pelo banco de germoplasma da Embrapa Hortaliças, Brasília, Brasil. Foram estudados três genótipos de melão: CNPH 06–1047-343, CNPH 06–1047-341 e CNPH 11–1071-43. Os genótipos foram selecionados devido ao seu alto nível de resistência a *L. sativae*, a principal praga do melão no Brasil (CELIN *et al.* 2017, OLIVEIRA *et al.* 2021). A variedade de melão ‘Goldex’ foi utilizada como controle porque é suscetível a *L. sativae* (CELIN *et al.* 2017) e é altamente vulnerável a *T. urticae* sob condições controladas (observação pessoal).

Sementes de cada genótipo de melão foram semeadas em bandejas de poliestireno de 200 células contendo substrato HS Florestal (Holambra Substratos, Artur Nogueira, São Paulo, Brasil) e fibra de coco (1:1, p/p) e cultivadas em casa de vegetação ( $27 \pm 3$  °C,  $70 \pm 10\%$  UR e fotoperíodo de 12 horas). Sete dias após a semeadura, as mudas emergentes foram transferidas

para vasos plásticos (7,5 cm de altura x 10,5 cm de diâmetro; 0,4 kg de capacidade) contendo substrato HS Florestal e areia (1:1, p/p) e mantidos em casa de vegetação ( $27 \pm 3$  °C,  $70 \pm 10\%$  UR; fotoperíodo de 12 horas) até o desenvolvimento completo de duas a três folhas verdadeiras (21 dias após a semeadura). Cada planta foi irrigada duas vezes ao dia.

### **2.2.2 Criação dos ácaros**

Indivíduos adultos de *T. urticae* foram coletados de folhas de mamão (*Carica mamao* L.) em área cultivada localizada no distrito de Fortaleza, Ceará, Brasil ( $3^{\circ}44'$  S,  $38^{\circ}34'$  W). Os ácaros foram multiplicados em plantas de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* L.) para evitar o condicionamento pré-imaginal. *C. ensiformis* foi cultivada em vasos (5 L) e mantida em sala climatizada sob condições controladas ( $25 \pm 1$  °C,  $70 \pm 10\%$  UR; fotoperíodo de 12 horas) e irrigada diariamente. Os ácaros foram transferidos das plantas antigas para as novas sempre que necessário (pelo menos uma vez por semana, dependendo das condições da planta). Plantas novas foram infestadas utilizando-se um folíolo retirado do terço médio das plantas velhas e com alta densidade de ácaros. Esses folhetos foram fixados na folha do terço médio das plantas novas para permitir que os ácaros se dispersassem e colonizassem as plantas.

### **2.2.3 Preferência alimentar e oviposição**

Testes com chance e sem chance de escolha foram realizados para determinar as preferências alimentares e de oviposição de *T. urticae* entre os genótipos de melão (OLIVEIRA *et al.* 2018). No teste de escolha foram utilizadas arenas confeccionadas em placas de Petri ( $\emptyset$  15 cm) contendo uma camada interna de esponja úmida e cobertas com papel filtro umedecido, ambos embebidos em água destilada. Quadrados de folhas (4 x 4 cm) dos genótipos de melão foram então colocados sobre papel filtro com a face abaxial voltada para cima. Algodão umedecido foi adicionado às margens externas dos quadrados das folhas para manter a turgidez e evitar a fuga dos ácaros. Os fragmentos de folhas (um de cada genótipo de melão) foram conectados entre si por meio de uma lamínula de plástico transparente (18 x 18 mm). Cinco fêmeas adultas de *T. urticae* (~3 dias de idade) coletadas da criação foram transferidas para o centro da lamínula, permitindo aos ácaros livre escolha e acesso a todos os genótipos de melão. O teste foi realizado em delineamento inteiramente casualizado com 20 repetições (arenas). Após 24 e 48 horas, o número de indivíduos e ovos de *T. urticae* em cada fragmento foliar foi contado e utilizado para calcular a preferência genotípica dos ácaros.

No teste sem chance de escolha, as arenas foram preparadas de forma semelhante ao teste com escolha, exceto que uma folha inteira de cada genótipo de melão foi colocada

individualmente nas arenas (placas de Petri Ø 10 cm) com a face abaxial voltada para cima, onde nenhuma escolha foi dada aos ácaros testados. Cinco fêmeas adultas de *T. urticae* (~10 dias de idade) coletadas do plantel foram transferidas para cada arena. Após 24 e 48 horas foi contabilizado o número de ovos de *T. urticae* na folha. O teste foi realizado em delineamento inteiramente casualizado com 20 repetições para cada genótipo. Em cada um dos testes, as unidades experimentais foram mantidas em condições controladas ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ;  $70 \pm 10\%$  UR; fotoperíodo de 12 horas).

#### **2.2.4 Parâmetros biológicos e taxa instantânea de aumento (*ri*)**

Alguns parâmetros biológicos e a taxa instantânea de crescimento (*ri*) foram avaliados para determinar a antibiose dos genótipos de melão a *T. urticae*. No primeiro bioensaio foram avaliados o período de incubação, viabilidade dos ovos, duração e viabilidade dos estágios imaturos (larva, protoninfa e deutoninfa) e o tempo de desenvolvimento ovo-adulto para cada genótipo de melão. Uma única fêmea adulta de *T. urticae* (~10 dias de idade) foi transferida da criação e mantida por 24 horas em cada arena (iguais às utilizadas no teste sem escolha). A fêmea e os ovos, exceto um, foram posteriormente retirados cuidadosamente da unidade experimental, restando um único ovo por arena (OLIVEIRA *et al.*, 2018). O desenvolvimento foi observado diariamente (a cada 12h) até a emergência dos adultos. Durante o decorrer deste bioensaio, as folhas nas arenas foram substituídas por folhas do respectivo tratamento a cada oito dias. Cada unidade experimental contendo um indivíduo de *T. urticae* foi considerada uma repetição, totalizando 20 repetições por tratamento.

No bioensaio para avaliar o *ri*, cinco fêmeas adultas de *T. urticae* (~3 dias de idade) foram transferidas da criação para as unidades experimentais semelhantes às utilizadas no teste sem escolha. Após um confinamento de 10 dias, o número de ovos e estágios móveis de *T. urticae* foram contados para cada repetição. Cada unidade experimental, contendo inicialmente cinco fêmeas de *T. urticae*, foi considerada uma repetição. Foram utilizadas vinte repetições para cada genótipo de melão. A taxa instantânea de crescimento foi calculada usando a equação  $ri = [\ln(N_f/N_0)] / \Delta T$ , onde  $N_f$  é o número final de indivíduos,  $N_0$  é o número inicial de indivíduos e  $\Delta T$  é a duração do experimento em dias (STARK *et al.*, 1997, WALTHAL; STARK, 1997).

#### **2.2.5 Características morfológicas das folhas**

As características morfológicas das folhas do melão que podem afetar a preferência alimentar, a oviposição, os parâmetros biológicos e a taxa de crescimento populacional de *T.*

*urticae* foram determinadas utilizando imagens de um microscópio eletrônico de varredura (MEV) (Tescan Kohoutovice, República Tcheca, modelo Vega 3 SBU). O método utilizado para avaliar a densidade de tricomas na superfície abaxial e a espessura da epiderme abaxial e do mesofilo foliar foi o mesmo descrito em Oliveira *et al.*, (2021).

Foram utilizadas plantas de melão com duas a três folhas desenvolvidas, amostradas através do corte de quatro fragmentos (com área de 0,25 mm<sup>2</sup>) das partes média e lateral da primeira folha de cada planta. O delineamento experimental incluiu quatro tratamentos (3 genótipos + testemunha) e três repetições cada (primeira folha/planta; três plantas). Amostras de folhas foram fixadas em solução de Karnovsky, diluídas em tampão fosfato 0,2 M (pH 7,2) e armazenadas em geladeira por 48 horas. As amostras foram então lavadas com tampão fosfato (3 x 10 min), pós-fixadas com tetróxido de ósmio a 1% por 1 hora, enxaguadas com água destilada e desidratadas com uma série graduada de etanol (20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% e 100%) por 15 min por série (GOIANA *et al.*, 2020). As amostras foram montadas em stubs de metal, secas em secador de ponto crítico (EMS 850, UK) e revestidas com uma fina camada de platina usando um sputter coater. As imagens foram adquiridas a uma voltagem de aceleração de 15 kV.

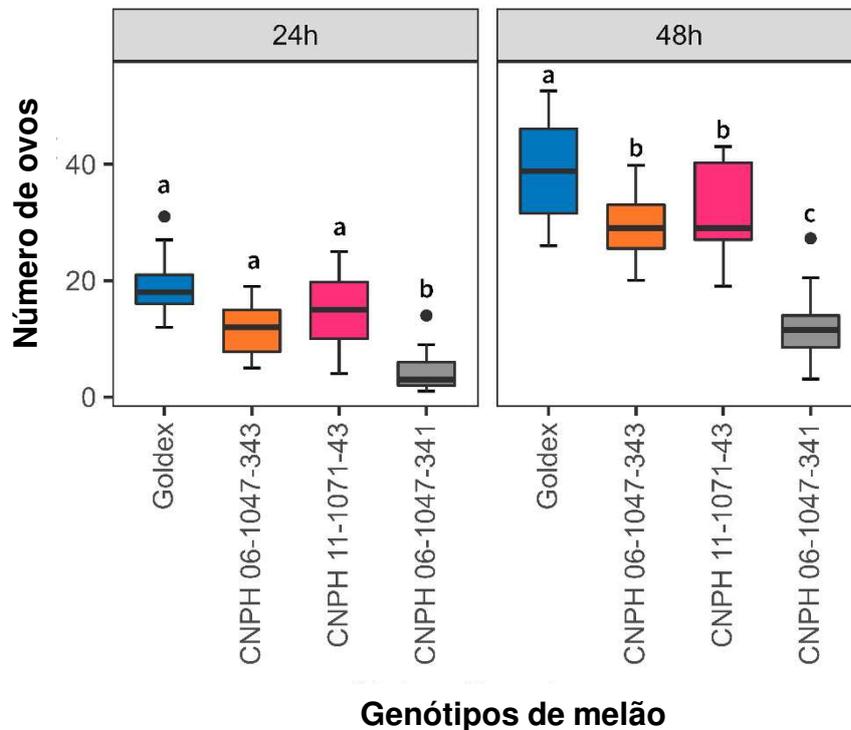
### **2.2.6 Análise estatística**

Como os dados sobre preferência alimentar, oviposição, parâmetros biológicos (período de incubação, viabilidade dos ovos, duração e viabilidade dos estágios imaturos e tempo de desenvolvimento ovo-adulto) e *ri*, não satisfizeram a suposição de normalidade, o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ou teste Qui-quadrado foi aplicado para testar o efeito dos genótipos de melão sobre essas variáveis. Após confirmação da normalidade (testes de Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (testes de Barlett e Brown-Forsythe), foram aplicados ANOVA unidirecional e em seguida teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) para verificar o efeito dos genótipos de melão sobre o número de tricomas foliares, espessura da camada epidérmica abaxial e espessura do mesofilo foliar. Além disso, foi realizada uma correlação entre o número de adultos e ovos de *T. urticae*, dos parâmetros biológicos e *ri* do ácaro com as características morfológicas das folhas (densidade de tricomas, espessura da camada epidérmica abaxial e espessura do mesofilo foliar), utilizando o coeficiente de correlação de Spearman (*r*) ( $\alpha = 0,05$ ). Cada um dos testes foi realizado utilizando o pacote Agricolae (Mendiburu, 2023) nos softwares R e RStudio (R Core Team 2023).

## 2.3 Resultados

### 2.3.1 Preferência alimentar e oviposição

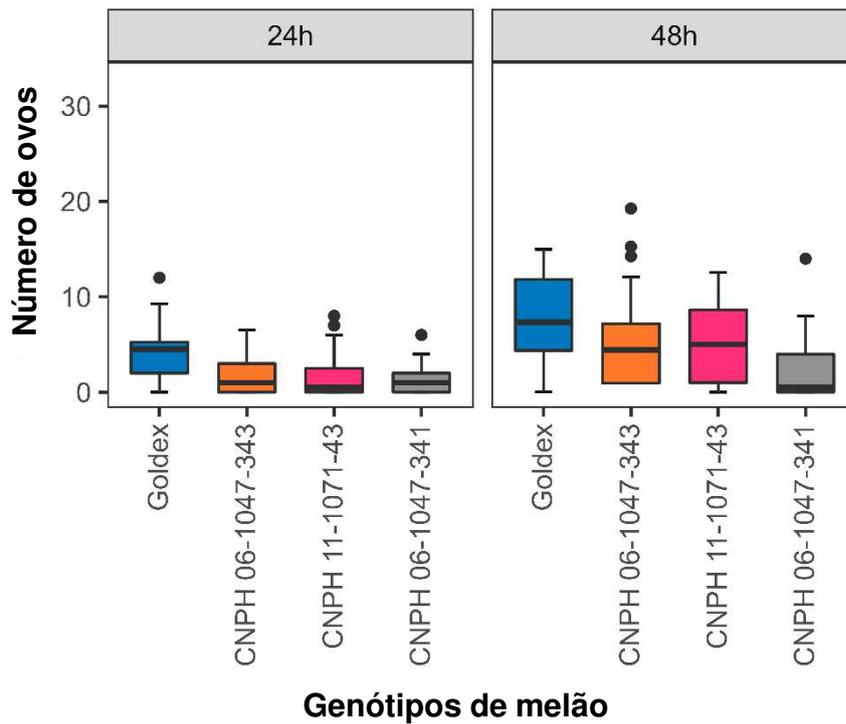
No teste sem escolha, o número de ovos de *T. urticae* após 24 horas de confinamento ( $\chi^2 = 24,07$ ;  $df = 3$ ;  $P < 0,001$ ) e após 48 horas de confinamento ( $\chi^2 = 39,85$ ;  $df = 3$ ;  $P < 0,005$ ) diferiu significativamente entre os genótipos (Figura 1). Independentemente da época de avaliação, o número de ovos de *T. urticae* foi menor no genótipo CNPH 06-1047-341 e maior no híbrido suscetível ‘Goldex’. Os genótipos CNPH 06-1047-43 e CNPH 06-1047-343 não diferiram entre si e impuseram menor oviposição do que o observado no híbrido suscetível (Figura 1).



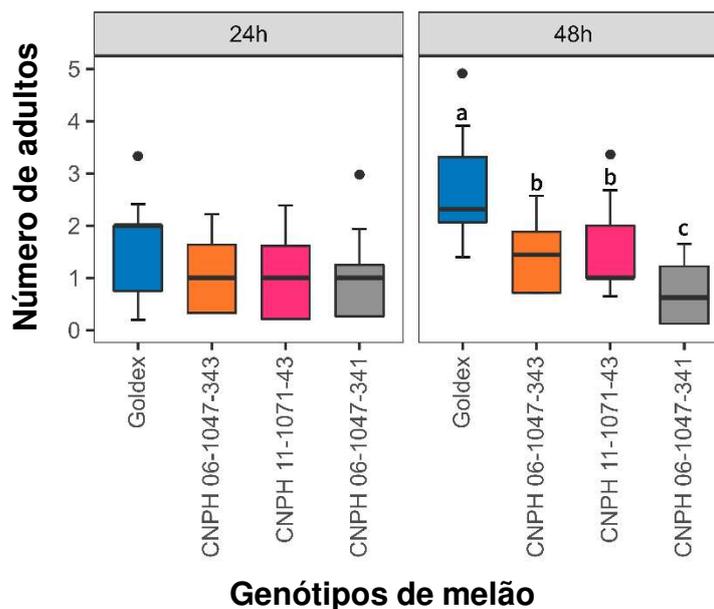
**Figura 1.** Número de ovos de *T. urticae* em diferentes genótipos de melão ao longo de 24 e 48 horas sem escolha. O box plot indica a mediana (linha sólida), dispersão (quartis inferior e superior) e outliers (pontos preenchidos). Letras minúsculas iguais em cada box plot indicam falta de diferenças significativas pelo teste de Kruskal-Wallis ( $P < 0,05$ ).

No bioensaio de escolha, o número de ovos de *T. urticae* não diferiu entre os genótipos de melão após 24 horas ( $\chi^2 = 0,25$ ;  $df = 3$ ;  $P = 0,97$ ) ou após 48 horas ( $\chi^2 = 3,03$ ;  $df = 3$ ;  $P = 0,38$ ) (Figura 2). Adicionalmente, o número de indivíduos adultos de *T. urticae* também não diferiu entre os genótipos de melão durante o período de confinamento de 24 horas no teste

com chance de escolha ( $\chi^2 = 2,96$ ;  $df = 3$ ;  $P = 0,39$ ). Em contraste, após 48 horas o número de adultos de *T. urticae* foi menor no genótipo CNPH 06-1047-341 e maior no suscetível 'Goldex' ( $\chi^2 = 12,13$ ;  $df = 3$ ;  $P = 0,006$ ), valores intermediários foram observados no CNPH Genótipos 06-1047-43 e CNPH 06-1047-343 (Figura 3).



**Figura 2.** Número de ovos de *T. urticae* em diferentes genótipos de melão ao longo de 24 e 48 horas com escolha. O box plot indica a mediana (linha sólida), dispersão (quartis inferior e superior) e outliers (pontos preenchidos). Letras minúsculas iguais em cada box plot indicam falta de diferenças significativas pelo teste Qui-quadrado ( $P < 0,05$ ).



**Figura 3.** Número de adultos de *T. urticae* em diferentes genótipos de melão ao longo de 24 e 48 horas com escolha. O box plot indica a mediana (linha sólida), dispersão (quartis inferior e superior) e outliers (pontos preenchidos). Letras minúsculas iguais em cada box plot indicam falta de diferenças significativas pelo teste Qui-quadrado ( $P < 0,05$ ).

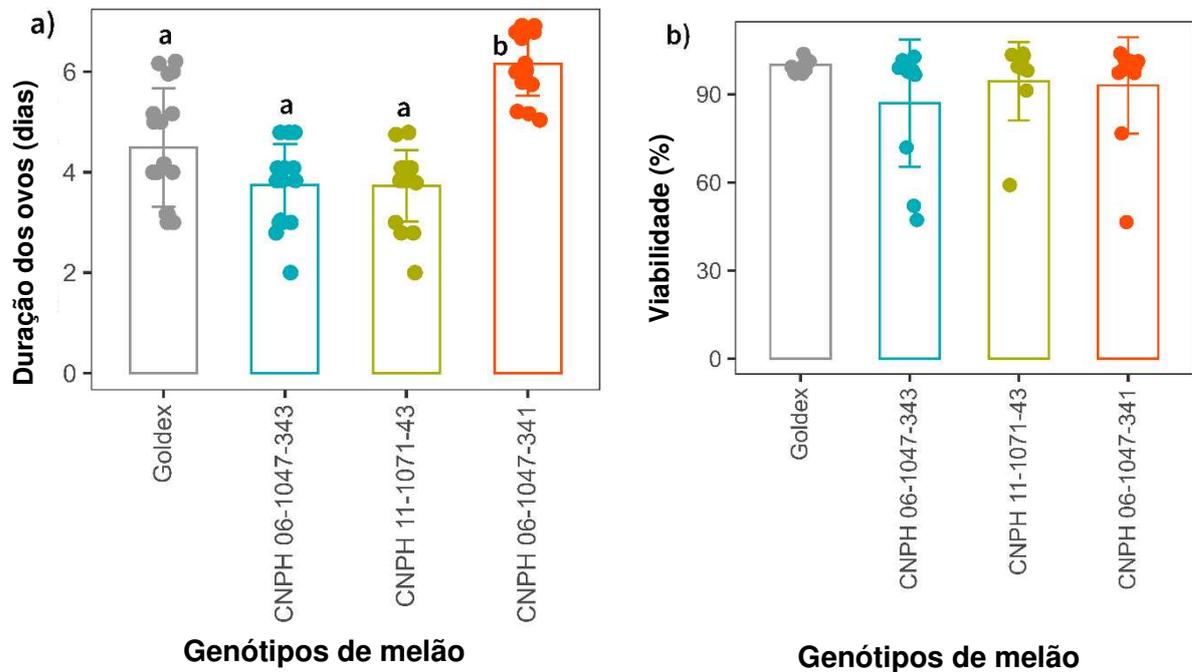
### 2.3.2 Parâmetros biológicos e taxa instantânea de aumento (*ri*)

A duração do período de incubação dos ovos no genótipo CNPH 06-1047-341 ( $6 \pm 1,2$  dias) foi significativamente maior que no tratamento controle (Goldex:  $4,8 \pm 1,8$  dias) e nos demais genótipos (CNPH 06-1047-43:  $3,8 \pm 1$  dia; CNPH 06-1047-343:  $3,9 \pm 1$  dia). Entretanto, a viabilidade dos ovos em todos os genótipos foi alta ( $\geq 80\%$ ) (Figura 4).

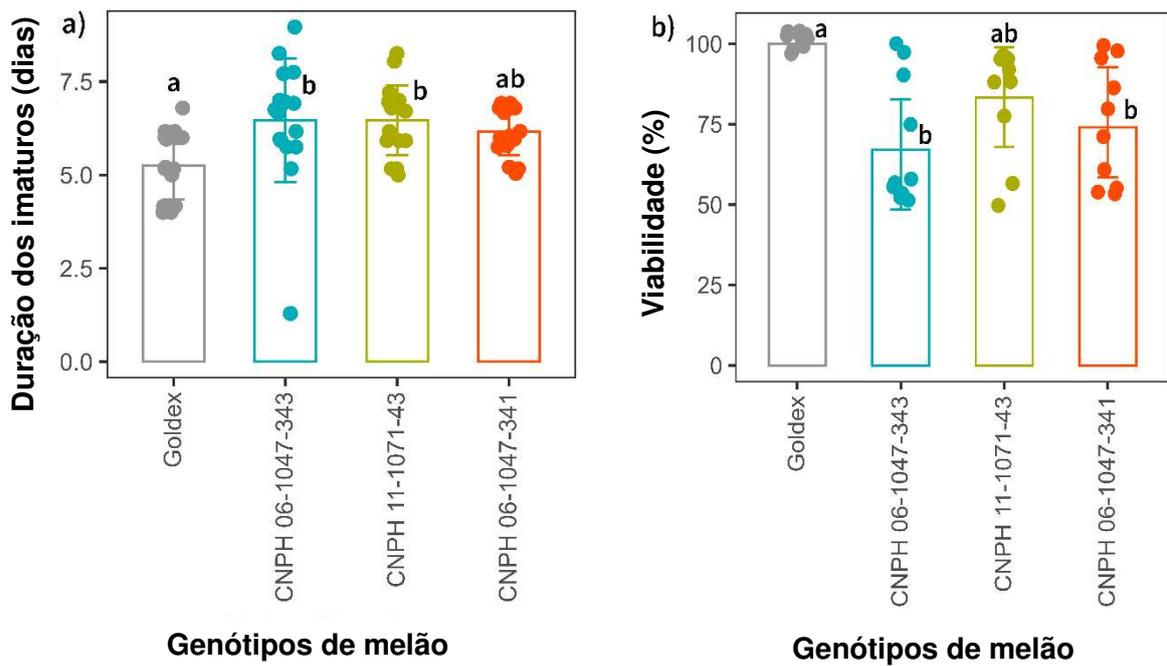
A duração da fase imatura de *T. urticae* foi significativamente maior em CNPH 06-1047-343 ( $6 \pm 2$  dias) e CNPH 06-1047-43 ( $6 \pm 1,5$  dias), seguido pelo CNPH 06-1047-341 ( $5,7 \pm 1,1$  dias) e menor no tratamento controle (Goldex) ( $5,1 \pm 0,8$  dias). Além disso, a viabilidade dos ácaros imaturos foi significativamente reduzida ( $< 77\%$ ) em CNPH 06-1047-343, CNPH 06-1047-43 e CNPH 06-1047-341 em comparação com o tratamento controle (Goldex) (100%) (Figura 5). O período ovo-adulto foi significativamente mais longo no CNPH 06-1047-343 ( $12 \pm 1,2$  dias), CNPH 06-1047-43 ( $11,2 \pm 0,7$  dias) e CNPH 06-1047-341 ( $11,2 \pm 0,54$  dias) do que no tratamento controle (Goldex:  $8,7 \pm 0,9$  dias) (Figura 6).

A taxa instantânea de crescimento (*ri*) diferiu significativamente entre os genótipos de melão ( $\chi^2 = 43,68$ ;  $df = 3$ ;  $P < 0,005$ ), com os maiores valores de *ri* para *T. urticae* observados no tratamento controle (Goldex). O genótipo CNPH 06-1047-341 impôs os menores valores de

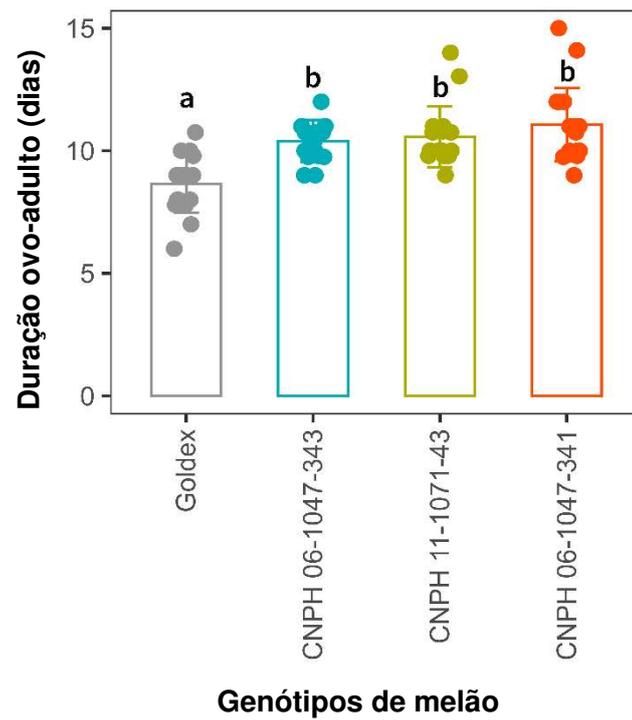
ri à população de *T. urticae*, seguido pelo CNPH 06-1047-343 e CNPH 06-1047-43, com valores intermediários de ri inferiores aos do tratamento controle (Figura 7).



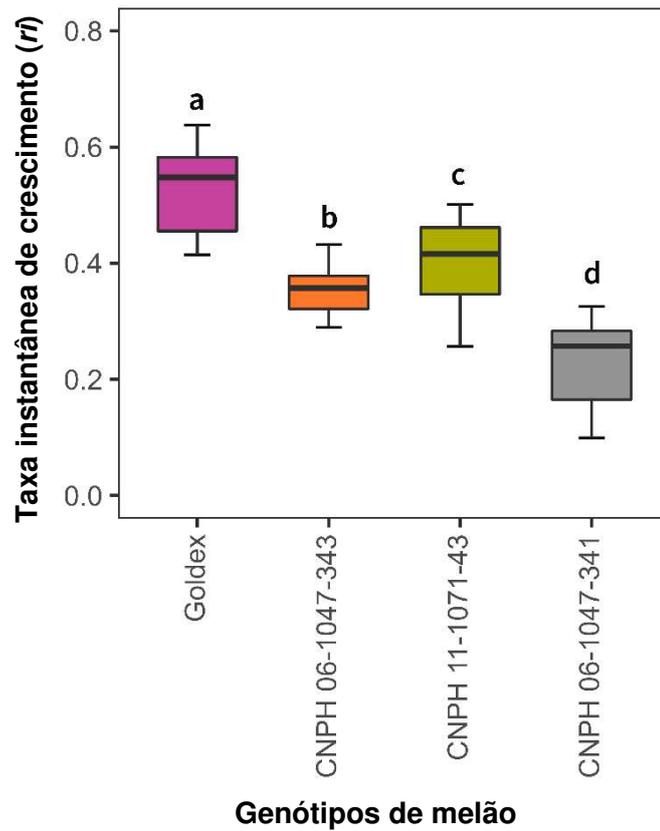
**Figura 4.** Parâmetros biológicos [Período de incubação (dias  $\pm$  SE) e viabilidade dos ovos (%)] em *Tetranychus urticae* mantidos em discos foliares de diferentes genótipos de melão. As barras indicam a média, a barra de erro indica o erro padrão e os pontos indicam os valores observados em cada réplica. Letras minúsculas iguais em cada barra indicam ausência de diferenças significativas pelo teste de Kruskal-Wallis ( $P < 0,05$ ).



**Figura 5.** Duração do estágio imaturo (Dias  $\pm$  SE) (a) e viabilidade imatura (%) (b) de *Tetranychus urticae* mantido em discos foliares de diferentes genótipos de melão. As barras indicam a média, a barra de erro indica o erro padrão e os pontos indicam os valores observados em cada réplica. Letras minúsculas iguais em cada barra indicam ausência de diferenças significativas pelo teste de Kruskal-Wallis ( $P < 0,05$ ).



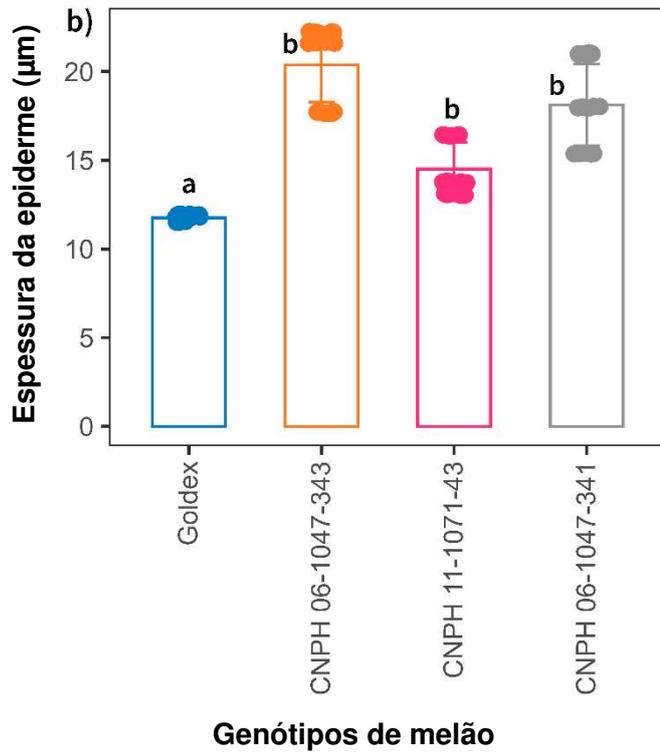
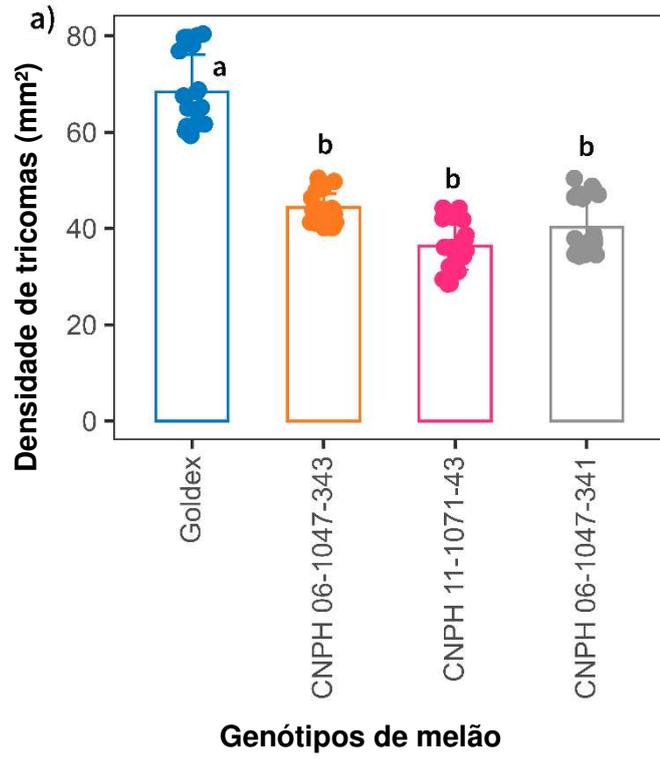
**Figura 6.** Tempo de desenvolvimento (dias  $\pm$  SE) [ovo até adulto] para *Tetranychus urticae* mantido em discos foliares de diferentes genótipos de melão. As barras indicam a média, a barra de erro indica o erro padrão e os pontos indicam os valores observados em cada réplica. Letras minúsculas iguais em cada barra indicam ausência de diferenças significativas pelo teste de Kruskal-Wallis ( $P < 0,05$ ).

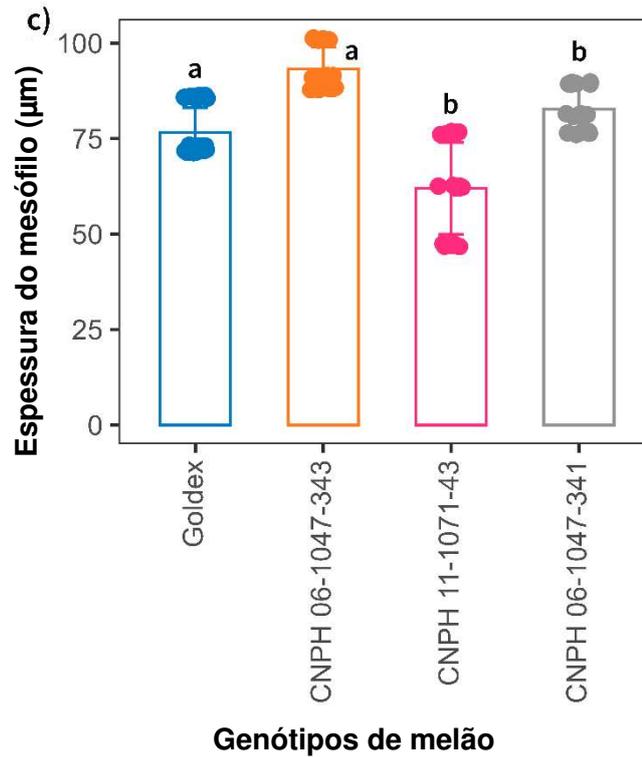


**Figura 7.** Taxa instantânea de crescimento populacional de *T. urticae* em diferentes genótipos de melão. O box plot indica a mediana (linha sólida), dispersão (quartis inferior e superior) e outliers (pontos preenchidos). Letras minúsculas iguais em cada box plot indicam falta de diferenças significativas pelo teste de Kruskal-Wallis ( $P < 0,05$ ).

### 2.3.3 Características morfológicas das folhas

Houve diferença significativa entre os tratamentos em relação à densidade de tricomas e à espessura da epiderme e mesofilo (Figura 8). Os genótipos CNPH 06–1047-343 ( $44,46 \pm 2,02 \text{ mm}^2$ ), CNPH 06–1047-341 ( $40,42 \pm 4,04 \text{ mm}^2$ ) e CNPH 11–1071-43 ( $36,37 \pm 3,50 \text{ mm}^2$ ) apresentaram densidade de tricomas significativamente menor (em um segmento de  $0,25 \text{ mm}^2$ ) em comparação ao híbrido comercial 'Goldex' ( $68,71 \pm 5,34 \text{ mm}^2$ ) (Figura 8-A). A espessura da epiderme ( $\mu\text{m}$ ) foi maior em CNPH 06–1047-343 ( $20,50 \pm 1,41 \mu\text{m}$ ), CNPH 06–1047-341 ( $18,13 \pm 1,62 \mu\text{m}$ ) e CNPH 11–1071-43 ( $14,41 \pm 1,01 \mu\text{m}$ ) em em relação ao híbrido comercial 'Goldex' ( $11,74 \pm 0,11 \mu\text{m}$ ) (Figura 8-B). A espessura do mesofilo foi maior no CNPH 06–1047-343 ( $93,52 \pm 3,91 \mu\text{m}$ ) e CNPH 06–1047-341 ( $82,35 \pm 3,78 \mu\text{m}$ ) e menor no CNPH 11–1071-43 ( $61,95 \pm 8,49 \mu\text{m}$ ) e no híbrido comercial ( $76,86 \pm 4,52 \mu\text{m}$ ) (Figura 8-C).





**Figura 8.** Características morfológicas (Média ± EPM) das folhas de quatro genótipos de melão com diferentes níveis de resistência a *T. urticae*, com base em micrografias eletrônicas de varredura: (A) número de tricomas na superfície abaxial da folha; (B) espessura epidérmica; (C) espessura do mesófilo. Colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ )

Houve correlação positiva significativa para a densidade de tricomas com o número de ovos e o *ri* de *T. urticae* (Tabela 1). Por outro lado, houve correlação negativa significativa da espessura da epiderme e do mesófilo com a viabilidade das ninfas e com o *ri* (Pearson  $r = -0,4344$ ;  $r^2 = 0,1887$ ,  $P = 0,1056$ ) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Correlação entre as características morfológicas das folhas (número de tricomas, espessura da epiderme e espessura do mesófilo) e preferência alimentar e de oviposição, com diversos parâmetros biológicos (período de incubação e viabilidade dos ovos, duração e viabilidade dos estágios imaturos e duração da desenvolvimento ovo-adulto) e crescimento populacional (*ri*) em *T. urticae*. Coeficiente de correlação de Spearman, *r* (valor *P*).

	Com chance de escolha	Sem chance de escolha		Desenvolvimento biológico					
		Adultos (48h)	Ovos (24h)	Ovos (48h)	Ovos (desenvolvimento)	Ovos (viabilidade)	Ninfa (desenvolvimento)	Ninfa (viabilidade)	Ovo-adulto (desenvolvimento)
Espessura epidérmica	-0,0149 ( 0,890)	0,01943 (0,8713)	-0.08171 (0.4950)	0.0953 (0.4250)	-0.1999 (0.2288)	0.0066 (0.9566)	-0.5230 (<.0001)	-0.0906 (0.4860)	-0.6090 (<.0001)
Densidade de tricomas	-0,0825 ( 0,444)	0,53655 (<,0001)	0.58453 (<.0001)	-0.0321 (0.7888)	0.0439(0.7920)	-0.1711 (0.1577)	0.2740 (0.0956)	-0.1866 (0.1500)	0.4270 (<.0001)
Espessura do mesófilo	-0,0522 (0,628)	-0,21104 (0.0691)	0.03826 (0.7445)	-0.0602 (0.6140)	-0.2320 (0.1600)	-0.0941 (0.4380)	-0.3666 (0.02410)	-0.1030 (0.4288)	-0.3270 (0.0081)

## 2.4 Discussão

Com ensaios de oviposição, desenvolvimento biológico, e crescimento populacional, demonstrou-se que os genótipos de melão CNPH 06–1047-343, CNPH 11–1071-43 e CNPH 06-1047-341 possuem resistência contra *T. urticae* quando comparados ao híbrido Goldex em condições de laboratório. Nas análises morfológicas, as folhas dos genótipos resistentes apresentavam menor densidade de tricomas e maiores espessuras da epiderme e do mesofilo em relação ao genótipo suscetível (Goldex), portanto essas características das folhas podem estar associadas à resistência do meloeiro contra *T. urticae*.

A antixenose descreve a resistência de uma planta com base na preferência de alimentação e oviposição dos herbívoros, resultando na seleção de uma planta hospedeira alternativa pelos herbívoros (SEKI, 2016). No presente trabalho foi encontrado um menor número de adultos e ovos de *T. urticae* em CNPH 06–1047-343, CNPH 06–1047-341 e CNPH 11–1071-43 quando comparados ao híbrido suscetível (Goldex), portanto é razoável supor que esses genótipos suportam resistência do tipo antixenose contra o ácaro. De acordo com Seki, (2016) diversos fatores podem interferir na escolha dos herbívoros, dentre esses, os caracteres morfológicos das folhas, são cruciais na seleção hospedeira.

Geralmente a alta densidade de tricomas nas folhas das plantas diminui o ataque por herbívoros e indica resistência a ácaros (FÁVARO *et al.* 2022). Fávares *et al.*, (2022), relataram que genótipos de morango que continham altas densidades de tricomas nas suas folhas afetaram as preferências de alimentação e oviposição de *T. urticae*. Em contraste, neste trabalho, os tricomas do meloeiro não representaram uma barreira física para *T. urticae*, pois os dados de número de adultos e densidade de tricomas não mostraram nenhuma relação. De acordo Xu *et al.*, (2019) isso pode ocorrer pois os tricomas do melão, mesmo em alta densidade, não impedem que *T. urticae* se locomova ou se fixe para iniciar ou manter a alimentação nas folhas das plantas. De fato, esses mesmos autores relataram diferenças nas densidades de tricomas em genótipos de meloeiro resistentes e suscetíveis a *T. urticae*, entretanto nenhuma relação foi encontrada entre os tricomas e a resistência ao ácaro (XU *et al.*, 2019).

Além de não influenciar na escolha para alimentação, fêmeas de *T. urticae* preferiram ovipositar em genótipos com folhas mais pilosas (Goldex), pois de acordo com as correlações o número de ovos do ácaro nas folhas de melão aumenta à medida que a densidade de tricomas aumenta. Esse comportamento das fêmeas pode ocorrer, pois genótipos altamente pilosos proporcionam um microclima adequado, e servem de proteção aos indivíduos imaturos e ovos, uma possível resposta evolutiva à pressão de seleção exercida pelos inimigos naturais (BUTTER; VIR, 1989). De fato, os tricomas podem interferir no comportamento dos ácaros

predadores, uma vez que esses organismos tem suas taxas de predação reduzidas em folhas altamente pilosas (BARBOSA; POLETTI; POLETTI, 2019; JAFARIAN; JAFARI; FATHIPOUR, 2022). Khederi *et al.*, (2014) relataram um resultado semelhante, ao observar que a suscetibilidade de cultivares de uva ao ácaro *Colomerus vitis* Pagenstecher (Acari: Eriophyidae) estava relacionada com a maior densidade de tricomas nas folhas das plantas. Adicionalmente, em uma pesquisa anterior também foi relatado que a suscetibilidade de Goldex para oviposição de *L. sativae* tinha relação com a maior densidade de tricomas nesse genótipo, enquanto que CNPH 06–1047-343, CNPH 06–1047-341 e CNPH 11–1071-43 foram menos preferidos para oviposição do inseto por possuírem folhas menos pilosas (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

A espessura da epiderme pode ser aumentada pela deposição de lignina, celulose e hemicelulose, portanto, folhas com camadas epidérmicas espessas são muito mais rígidas e mais resistente ao ataque de herbívoros (AOYAMA; LABINAS, 2012). Além disso, a dureza e a espessura das folhas pode ser resultado do aumento das camadas de parênquima paliádico e esponjoso, que tornam o mesófilo foliar espesso e de difícil acesso aos herbívoros (ESAU, 1967; LARCHER, 1986; VOGELMAN, 1993). Em meloeiro, a alimentação e a oviposição de *L. sativae* foi negativamente correlacionada com a espessura da epiderme foliar, enquanto a espessura do mesófilo não exerceu qualquer influencia na resistência contra o inseto (OLIVEIRA *et al.*, 2021). Em pepino, o número de ovos e adultos de *T. urticae* não se relacionaram com as espessuras da epiderme e do mesófilo foliar (ABOU-ZAID, 2013). Nesse estudo, apesar dos quatro genótipos de melão apresentarem diferentes níveis de resistência a *T. urticae*, bem como diferenças nas espessuras da epiderme e do mesófilo, esses caracteres morfológicos não influenciaram na resistência ao ácaro. Portanto, as espessuras da epiderme e do mesófilo, não contribuem significativamente com a antixenose dos genótipos a *T. urticae*.

Além da antixenose, as plantas podem conferir resistência do tipo antibiose contra *T. urticae* (XU *et al.*, 2019). A antibiose é a categoria de resistência que inclui efeitos adversos na história de vida do artrópode quando uma planta hospedeira resistente é usada como alimento (SEKI, 2016). Neste trabalho, foram observadas alterações no período de incubação dos ovos, desenvolvimento e viabilidade dos imaturos, tempo de desenvolvimento larva-adulto, bem como no crescimento populacional de *T. urticae* quando o ácaro é obrigado a subsistir em CNPH 06–1047-343, CNPH 11–1071-43 e CNPH 06-1047-341. Portanto, além de antixenóticos esses genótipos parecem suportar algum tipo de antibiose contra *T. urticae*.

A antibiose das plantas hospedeiras contra *T. urticae* pode ser expressa por fatores morfológicos, químicos e enzimáticos. Embora substâncias químicas e enzimas sejam consideradas como as principais causas da antibiose, os caracteres morfológicos também podem interferir no desenvolvimento biológico de *T. urticae* (SEKI, 2016; VENDRAMIM; ROSALES, 2019; XU *et al.*, 2019). Quando a epiderme foliar é muito espessa ela pode dificultar o acesso dos herbívoros a substâncias nutritivas das plantas (AOYAMA; LABINAS, 2012). Como *T. urticae* deve perfurar a epiderme para se alimentar do mesófilo foliar, uma epiderme espessa pode reduzir a alimentação, com consequências na fecundidade e reprodução do ácaro (BENSOUSSAN *et al.*, 2016; XU *et al.*, 2019). Os dados do presente trabalho de desenvolvimento biológico, crescimento populacional e espessura da epiderme suportam esta hipótese, pois mostram que a viabilidade dos imaturos e o crescimento populacional (*ri*) de *T. urticae* diminuem à medida que a espessura da epiderme da folha de melão aumenta. Da mesma forma, Xu *et al.*, (2019) verificou um menor *ri* de *T. urticae* em genótipos de meloeiro com epidermes mais espessas. Portanto, a maior espessura da epiderme de CNPH 06–1047-343, CNPH 06–1047-341 e CNPH 11–1071-43 contribuiu significativamente para alterar alguns parâmetros biológicos de *T. urticae*.

Quando o mesófilo foliar é espesso, os herbívoros, especialmente os sugadores, podem ter dificuldade de inserir o aparelho bucal para se alimentar nas plantas hospedeiras (ESAU, 1967; LARCHER, 1986; VOGELMAN, 1993). O mesófilo foliar é constituído pelos tecidos paliçádico e esponjoso, entretanto, *T. urticae* prefere se alimentar do tecido esponjoso (SEKI, 2016). Segundo Seki (2016), *T. urticae*, especialmente os imaturos, tem dificuldade de acessar o tecido esponjoso em folhas com tecido paliçádico espesso, o que reflete em aumento de mortalidade e redução do crescimento populacional. Cultivares de cravo (*Dianthus caryophyllus* L) com mesófilo foliar mais espesso apresentam danos leves (antixenose) e alteraram os parâmetros biológicos (antibiose) de *T. urticae* (SEKI, 2016). Notou-se aqui que a viabilidade dos imaturos e o crescimento populacional de *T. urticae* diminuiu com o aumento da espessura do mesófilo da folha de melão. Portanto, é razoável supor que a espessura do mesófilo também contribui com a resistência de CNPH 06–1047-343, CNPH 06–1047-341 e CNPH 11–1071-43 contra *T. urticae*. Entretanto, compreender qual tecido do mesófilo (paliçádico ou esponjoso) de fato interfere no desenvolvimento biológico de *T. urticae* é um tópico para pesquisas futuras.

Além dos fatores morfológicos, novas pesquisas devem ser realizadas visando entender quais outras causas podem estar associadas com a resistência do tipo antibiose de genótipos de melão contra *T. urticae*. Dentre as substâncias químicas, compostos fenólicos, metil cetonas,

acilsacarose, terpenoides e flavonoides já foram relatadas como causas da antibiose de plantas tomate e crisântemo a *T. urticae* (SANTAMARIA *et al.*, 2020). Além disso, as enzimas possivelmente também estão envolvidas na resistência do hospedeiro e sua investigação vale a pena. Por exemplo, em genótipos de melão resistente a *T. urticae*, a antibiose pode ser resultado de atividades aumentadas de peroxidase e polifenol oxidase em resposta à infestação do ácaro (SHOOROOEI *et al.*, 2013).

O presente estudo enfocou o papel das barreiras morfológicas na resistência do meloeiro a *T. urticae*. Os genótipos CNPH 06–1047-343, CNPH 11–1071-43 e CNPH 06-1047-341 possuem resistência contra *T. urticae*. As maiores espessuras da epiderme e do mesofilo foliar reduzem a viabilidade dos imaturos e a taxa de crescimento populacional de *T. urticae* nesses genótipos.

**3 CAPÍTULO 2 – ATRATIVIDADE DE *Chrysoperla externa* A COMPOSTOS VOLÁTEIS DE CAJUEIRO E SEUS ASPECTOS BIOLÓGICOS VISANDO O CONTROLE BIOLÓGICO DE *Aleurodicus cocois***

## RESUMO

Os compostos voláteis induzidos por herbívoros (CVIHs) atuam como um mecanismo de defesa indireta das plantas, pois fornecem importantes pistas de forrageamento para os inimigos naturais localizarem suas presas ou hospedeiros. Neste estudo avaliaram-se a resposta olfativa de *C. externa* aos voláteis do genótipo de cajueiro Embrapa 51 induzido pela herbivoria de *A. cocois*, o perfil químico desses compostos, bem como desenvolvimento de *C. externa* alimentado com *A. cocois*. Os compostos voláteis emitidos pelas folhas do genótipo de cajueiro, infestado e não infestado por *A. cocois*, foram analisados por microextração em fase sólida e cromatografia gasosa-espectrometria de massa acoplada. Nos testes de olfatometria *C. externa* foi atraído e passou mais tempo no braço do olfatômetro contendo voláteis de plantas de cajueiro induzidos pela herbivoria de *A. cocois*. De acordo com os perfis voláteis analisados  $\alpha$ -felandrene,  $\alpha$ -terpineno,  $p$ -mentha-2,4 (8) -dieno,  $\beta$ - caryophyllene e germacrene D foram liberados em grandes quantidades pelo genótipo Embrapa 51 somente após a infestação por *A. cocois*. Portanto, esses compostos podem estar envolvidos na atratividade do predador. Em condições de laboratório, embora o tempo de desenvolvimento e a sobrevivência de alguns estágios imaturos de *C. externa* possa variar com o tipo de presa, o predador é capaz de completar seu ciclo de desenvolvimento ovo-adulto quando alimentado com *A. cocois*.

**Palavras-chave:** mosca-branca; controle biológico; crisopídeo; voláteis induzidos por herbivoria.

## ABSTRACT

Herbivore-induced volatile compounds (HIPVs) act as an indirect defense mechanism of plants, as they provide important foraging cues for natural enemies to locate their prey or hosts. In this study, the olfactory response of *C. externa* to volatiles from the Embrapa 51 cashew genotype induced by *A. cocois* herbivory, the chemical profile of these compounds, as well as the development of *C. externa* fed with *A. cocois* were evaluated. The volatile compounds emitted by the leaves of the cashew genotype, infested and not infested by *A. cocois*, were analyzed by solid phase microextraction and gas chromatography-coupled mass spectrometry. In olfactometry tests, *C. externa* was attracted and spent more time in the olfactometer arm containing cashew plant volatiles induced by *A. cocois* herbivory. According to the volatile profiles analyzed  $\alpha$ -felandrene,  $\alpha$ -terpinene,  $\rho$ -mentha-2,4(8)-diene,  $\beta$ -caryophyllene and germacrene D were released in large quantities by the Embrapa 51 genotype only after infestation by *A. cocois*. Therefore, these compounds may be involved in predator attractiveness. Under laboratory conditions, although the development time and survival of some immature stages of *C. externa* may vary with the type of prey, the predator is capable of completing its egg-adult development cycle when fed with *A. cocois*.

**Keywords:** whitefly; biological control; lacewing; herbivory-induced volatiles.

### 3.1 Introdução

A mosca-branca *Aleurodicus cocois* (Curtis, 1846) (Hemiptera: Aleyrodidae) é uma das principais pragas da cajucultura no Brasil (MESQUITA; BRAGA SOBRINHO, 2013). Surtos populacionais podem causar perdas de 90% da produtividade em plantações de cajueiro (CARNEIRO *et al.*, 2006). Ao se alimentar da seiva do floema, *A. cocois* pode inocular toxinas dando origem a anomalias ou distúrbios fitotóxicos caracterizados pelo murchamento e amarelecimento de folhas e galhos (MESQUITA; BRAGA SOBRINHO, 2013). Além disso, *A. cocois* libera uma substância açucarada que promove o desenvolvimento da fumagina (fungo *Capnodium* sp.) sobre as folhas dos cajueiros, o que compromete a fotossíntese das plantas (GOIANA *et al.*, 2017).

No Brasil, há apenas dois produtos químicos registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para o controle de *A. cocois* (MAPA) (AGROFIT, 2023). Entretanto, aplicações sucessivas de produtos com o mesmo grupo químico no controle de moscas-brancas podem desencadear problemas irreversíveis como a seleção de insetos resistentes (HOROWITZ; ISHAAYA, 2014). Outros problemas decorrentes do uso indiscriminado de agrotóxicos são o surto de pragas secundárias, mortalidade de inimigos naturais, além de problemas ambientais e à saúde das pessoas (GEIGER *et al.*, 2011). Logo, faz-se necessário o estudo de alternativas de controle para aumentar as possibilidades de manejo de *A. cocois* em cultivos de cajueiro.

O uso de plantas resistentes pode ser uma estratégia eficaz para o controle de artrópodes fitófagos em ambientes agrícolas (GOIANA *et al.*, 2020b). Em estudos anteriores, os genótipos de cajueiro-anão apresentam diferentes níveis de resistência contra *A. cocois* (GOIANA *et al.*, 2020b; SARAIVA *et al.*, 2022). De acordo com essa pesquisa o genótipo PRO 143/7 foi classificado como resistente, enquanto EMBRAPA 51 foi considerado suscetível a *A. cocois* (GOIANA *et al.*, 2020b; SARAIVA *et al.*, 2022). Embora seja suscetível, EMBRAPA 51 é um material genético importante para os produtores de caju das regiões semiáridas brasileiras, devido a sua elevada produtividade (8.700 kg/ha) e, principalmente, maior resistência a seca quando comparado a outros genótipos (CARDOSO *et al.*, 2007; FUCK JÚNIOR *et al.*, 2019). Adicionalmente, EMBRAPA 51 é um dos poucos genótipos resistentes à resinose (*Lasiodiplodia theobromae*), uma das principais doenças que afeta o cajueiro nas áreas cultivadas ((CARDOSO *et al.*, 2007; FUCK JÚNIOR *et al.*, 2019). Segundo Michereff *et al.*, (2019), além dos traços de resistência contra os herbívoros, em programas de melhoramento é necessário incluir pesquisas de ecologia química, pois embora alguns genótipos possam

inicialmente ser caracterizados como suscetíveis, esses podem exibir mecanismos de defesa indireta quando estão sob ataque das pragas.

A constituição volátil das plantas é modificada após a infestação por artrópodes-praga e esses compostos voláteis induzidos por herbívoros atuam como um mecanismo de defesa indireta para a planta (PINTO-ZEVALLOS *et al.*, 2013). De fato, esses voláteis fornecem importantes pistas de forrageamento para os inimigos naturais, pois são utilizados por esses organismos para localizar suas presas ou hospedeiros (PINTO-ZEVALLOS *et al.*, 2013). Segundo, Michereff *et al.*, (2019) e Saraiva *et al.*, (2023) genótipos caracterizados como suscetíveis podem reduzir os danos ocasionados pelos herbívoros ao liberar voláteis que recrutam os inimigos naturais. Adicionalmente, a eficiência desses genótipos na atração dos inimigos naturais pode ser mais alta quando utilizados em conjunto com outras estratégias de controle de pragas, como o controle biológico inundativo (MICHEREFF *et al.*, 2019). Portanto, pesquisas envolvendo os voláteis de EMBRAPA 51 induzidos por *A. cocois* podem ser úteis para compreender os mecanismos de defesa indireta desse genótipo, visando o controle biológico.

Em cultivos de cajueiro é comum a ocorrência de inimigos naturais. Dentre as espécies destaca-se o predador *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae), que já foi relatado forrageando folhas de cajueiro associado a colônias de *A. cocois* (GOIANA *et al.*, 2017). *C. externa* é um predador considerado como de alto potencial para uso em programas de controle biológico nas regiões tropicais, devido a sua adaptação as condições ambientais e fácil criação massal (ALBUQUERQUE *et al.*, 2001). Um estudo anterior concluiu que *C. externa* pode utilizar os vláteis de genótipos de cajueiro para localizar *A. cocois* (SARAIVA *et al.*, 2023). No entanto, nenhuma investigação foi realizada acerca dos voláteis de EMBRAPA 51 infestados com *A. cocois*.

Além da capacidade de perceber os voláteis induzidos por herbívoros, um predador eficiente para uso em programas de controle de biológico precisa ser capaz de consumir e completar seu ciclo a partir do herbívoro presente na planta atacada (SARAIVA *et al.*, 2023). Estudos de resposta funcional de *C. externa* constataram que as larvas de primeiro instar alimentadas com ovos e ninfas de *A. cocois* apresentaram uma resposta funcional do tipo II (SARAIVA *et al.*, 2023). Esse tipo de resposta é a mais frequente em insetos predadores, e a eficiência de controle se dá em baixas densidades de presas (JUMBO *et al.*, 2019). No entanto, ainda são escassas informações acerca da interferência da presa consumida na biologia e no desenvolvimento de *C. externa*.

Na busca por métodos alternativos para o controle de *A. cocois* e considerando que *C. externa* têm sido relatado como de ocorrência frequente em cultivos de cajueiro (GOIANA *et al.*, 2017), este trabalho teve como objetivos: (i) avaliar a resposta olfativa de *C. externa* aos voláteis das folhas do genótipo de cajueiro EMBRAPA 51 induzido pela herbivoria de *A. cocois*, (ii) caracterizar o perfil volátil das folhas de EMBRAPA 51 infestados e não infestado por *A. cocois* e (iii) avaliar o desenvolvimento de *C. externa* quando alimentada com ovos, ninfas e adultos de *A. cocois*.

## **3.2 Material e métodos**

### **3.2.1 Criação dos insetos predadores e presas**

A criação de *C. externa* foi estabelecida conforme descrito em Saraiva *et al.*, (2021). As colônias de *C. externa* foram mantidas em laboratório (temperatura  $25,0 \pm 2,0$  °C, umidade relativa  $70 \pm 10\%$  e 12h de fotoperíodo) em gaiolas (30 cm x 20 cm x 20 cm) confeccionadas com recipientes plásticos cobertos com tecido *voil*. Um copo plástico contendo algodão embebido em água destilada foi colocado no centro das gaiolas para fornecer água e manter a umidade. Os adultos foram alimentados com 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. As larvas foram alimentadas com ovos de *Ephestia (Anagasta) kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) (*ad libitum*) até atingirem a fase adulta. No teste de desenvolvimento biológico foram utilizadas larvas de primeiro instar de *C. externa*, recém-emergidas e não alimentadas. Por outro lado, nos ensaios olfatométricos, utilizou-se o terceiro ínstar larval, pois é o mais resposivo aos compostos voláteis induzidos por herbívoros (STRAPASSON *et al.*, 2014, SARAIVA *et al.*, 2023).

Uma colônia de *A. cocois* foi estabelecida conforme descrito em Goiana *et al.* (2020). Os espécimes foram multiplicados em mudas de cajueiro-anão (genótipo BRS 189) em casa de vegetação protegida ( $27 \pm 1$  °C,  $70 \pm 10\%$  UR e fotoperíodo de 12 horas). As mudas de cajueiro foram propagadas por enxertia e cultivadas em tubetes contendo substrato composto por casca carbonizada de arroz (*Oryza sativa* L.), bagaço de carnaúba (*Copernicia prunifera* L.) moído e solo hidromórfico na proporção de 3:2:2

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

As plantas avaliadas no presente estudo foram fornecidas pelo banco de germoplasma da Embrapa Agroindústria Tropical. O genótipo de cajueiro Embrapa 51 foi propagado

conforme descrito no tópico de Criação dos insetos predadores e presas, mantido nas condições ambientais de  $27 \pm 1$  °C,  $70 \pm 10\%$  UR e fotoperíodo de 12 horas, e utilizado nos experimentos quando tinham cerca de 135 dias de idade (4 - 5 folhas totalmente desenvolvidos e 20 cm de altura).

Um conjunto de mudas de cajueiro do genótipo Embrapa 51 foi transferido para estufas protegidas com tela para evitar danos causados por artrópodes, assim foi possível obter plantas intactas exibindo voláteis constitutivos que foram utilizados nos bioensaios de olfatosmetria. Para obtenção de plantas do mesmo genótipo (Embrapa 51) exibindo voláteis induzidos por *A. cocois*, um segundo conjunto de mudas foi previamente exposto individualmente (planta) a 40 adultos de *A. cocois* (não sexados e de idade desconhecida) coletados na criação estoque. As infestações foram realizadas em gaiolas (40 x 16 x 16 cm, confeccionadas com arame e tecido voil) contendo uma única planta de cajueiro Embrapa 51, nas quais os adultos de *A. cocois* permaneceram por 15 dias. Após esse período, foi possível obter plantas do genótipo Embrapa 51 infestadas com ovos e ninfas de *A. cocois*, que foram utilizadas nos testes de olfatosmetria (SARAIVA *et al.*, 2023).

### ***3.2.3 Bioensaios de olfatosmetria de C. externa exposta a voláteis de caju não infestado e infestado por A. cocois***

As respostas comportamentais de larvas de *C. externa* aos voláteis de cajueiro foram avaliadas em um sistema fechado de olfatosmetria 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 uma sala com quatro lâmpadas fluorescentes de 40 W (branca fria) no teto, sob condições ambientais controladas ( $27 \pm 1$  °C,  $70 \pm 5\%$  UR).

Para avaliar a resposta olfativa das larvas de *C. externa* aos voláteis do genótipo de cajueiro Embrapa 51 infestado ou não com *A. cocois*, foram realizados testes de duas escolhas. Um braço do olfatômetro tratado com voláteis constitutivos do genótipo de cajueiro Embrapa 51 (plantas não infestadas) foi comparado a um braço contendo voláteis induzidos por *A. cocois* (plantas infestadas) do mesmo genótipo (SARAIVA *et al.*, 2023).

Para oferecer as fontes de odor (volátil), folhas das mudas do genótipo de cajueiro Embrapa 51 (não infestadas e infestadas por *A. cocois*) foram individualizadas em sacos de poliéster (100%, 27 cm x 41 cm) e selado hermeticamente no caule das plantas com fita adesiva. Os sacos foram conectadas ao olfatômetro por meio de mangueiras de teflon. O ar purificado

foi passado através do sistema usando uma bomba de ar através de medidores de vazão 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 liberada na parte final do braço central do olfatômetro de tubo em Y. O inseto foi exposto aos voláteis por 10 min, e a cada bioensaio o olfatômetro 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 utilizando o software SOLF (Sistema para aquisição de dados em bioensaios olfatométricos) versão 2.0 (FANCELLI *et al.*, 2017).

Foram realizadas vinte repetições (insetos) para cada tratamento (Plantas do genótipo Embrapa 51 infestadas x não infestadas). A cada repetição foi utilizado um novo inseto. Ao final de 5 repetições, o olfatômetro foi limpo com detergente neutro, água destilada e álcool 70% e novos cajueiros foram oferecidos como fonte de odor.

### **3.2.4 Análise de voláteis das folhas do genótipo do cajueiro pelo 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 (SARAIVA *et al.*, 2022). A fibra foi exposta no espaço superior do frasco contendo aproximadamente 1 g de amostra de folha a 30°C por 15 minutos após a etapa de equilíbrio realizada a 30°C por 30 minutos. Cada amostra consistiu em uma folha (~1g) coletada do genótipo Embrapa 51 (135 dias de idade) infestado ou não infestado por *A. cocois*. Foram utilizadas 6 repetições (plantas) para coleta das 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 de metilpolissiloxano HP-5MS (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm, Agilent), transportador de hélio gás 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, 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 ao final da corrida. A identificação dos compostos obtidos foi realizada comparando os espectros de massa adquiridos com aqueles 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-alcanos C8-C30 (Supelco, 49451-U, Bellefonte, PA, EUA) e com dados da literatura (ADAMS, 2007).

### 3.2.5 Desenvolvimento biológico de *C. externa* em *A. kuehniella* e *A. cocois*

O desenvolvimento de *C. externa* foi avaliado em condições controladas ( $27 \pm 1^\circ \text{C}$ ,  $70 \pm 5\%$  UR) seguindo um delineamento experimental casualizado envolvendo dois tratamentos, com 30 repetições cada, nos quais os predadores foram alimentados com: (i) ovos de *A. kuehniella* (como controle) e (ii) ovos, ninfas e pupas de *A. cocois*. Em cada tratamento, larvas de *C. externa* recém-eclodidas foram colocadas individualmente em tubos de ensaio (vidro, 8 cm de altura x 3 cm de diâmetro), alimentadas com presas apropriadas, *ad libitum*, e observadas diariamente até a emergência dos adultos. Para cada indivíduo avaliou-se a duração e sobrevivência de cada instar larval (primeiro, segundo e terceiro instar), pré-pupa e pupa, bem como a duração e sobrevivência do período total de desenvolvimento ovo-adulto.

### 3.2.6 Análises estatísticas

Os dados sobre o número de entradas das larvas de *C. externa* nos diferentes braços do olfatômetro foram comparados por meio do teste  $\chi^2$  ( $\alpha = 0,05$ ). Assim, a frequência de cada indivíduo nos braços tratados com voláteis constitutivos de Embrapa 51 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 caju ou voláteis induzidos por *A. cocois* foram submetidos a testes t pareados ( $P < 0,05$ ). Foram excluídos das análises os insetos não responsivos, aqueles que permaneceram mais de 5 min no tubo central do olfatômetro e aqueles que permaneceram inativos (sem se movimentar). Todas as análises relativas aos testes de olfatômetro foram realizadas utilizando o software estatístico SAS (SAS INSTITUTE, 2018).

Para comparar as porcentagens relativas de compostos voláteis no genótipo Embrapa 51 infestados ou não infestados por *A. cocois* foram utilizados diferentes testes estatísticos. O pressuposto de normalidade dos dados de cada composto volátil foi verificado pelo teste de Shapiro-Wilk, as médias foram comparadas pelo teste t de Student, do método Pooled ou Satterthwaite considerando variâncias iguais ou diferentes, respectivamente, através do procedimento TTEST. Quando pelo menos um dos compostos voláteis 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 utilizando o software estatístico SAS (SAS INSTITUTE, 2018).

Para compreender a capacidade de resposta do genótipo Embrapa 51 à infestação por *A. cocois* e, portanto, classificar alguns compostos voláteis induzidos pela herbivoria da praga

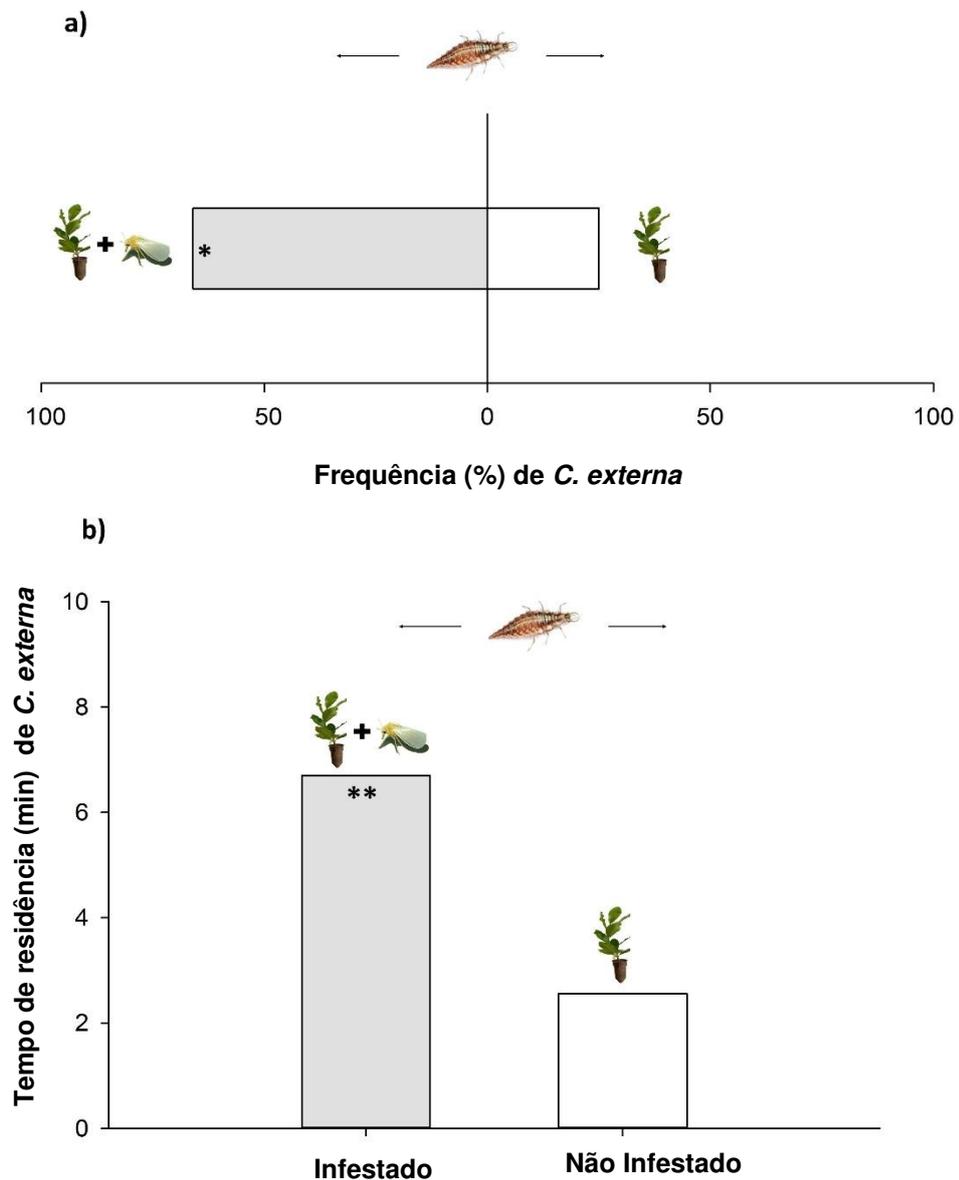
como compostos marcadores, foi desenvolvido um método de classificação supervisionado PLS-DA para segregar as amostras em grupos com base na infestação. A análise discriminante de mínimos quadrados parciais (PLS-DA) foi realizada em conjunto com dados de GC-MS para evidenciar a variabilidade dos compostos voláteis do genótipo de cajueiro Embrapa 51 de acordo com a infestação de *A. cocois*. A análise foi realizada utilizando 2 LV (Variáveis Latentes) e o algoritmo Simplified PLS (SIMPLS) foi aplicado para análise de classificação multivariada. 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 9.4) e exportado para o programa PLS-Toolbox™ (versão 8.6.2, Eigenvector Research Incorporated, Manson, WA, EUA). Adicionalmente, os compostos que apresentaram alterações significativas de acordo com a avaliação quimiométrica foram semi-quantificados e expressos como alterações relativas ( $\alpha$ -fellandreno,  $\alpha$ -terpineno,  $\rho$ -menta-2, 4 (8) - dieno,  $\beta$  - cariofileno e germacreno D). Uma variação de 100% significa que o composto volátil só foi liberado pelo cajueiro antes ou após a infestação.

Para avaliar o efeito de cada presa (*A. kuehniella* e *A. cocois*) na duração e sobrevivência de cada instar larval (primeiro, segundo e terceiro instar), pré-pupa e pupa, bem como na duração e sobrevivência do período total de desenvolvimento ovo-adulto de *C. externa* as médias foram comparadas pelo teste t de Student, a partir do método Pooled ou Satterthwaite considerando variâncias iguais ou diferentes, respectivamente, através do procedimento TTEST. O pressuposto de normalidade dos dados de cada variável foi verificado pelo teste de Shapiro-Wilk, e todas as análises foram realizadas no software estatístico SAS (SAS INSTITUTE, 2018).

### 3.3 Resultados

#### 3.3.1 Bioensaios de olfatométrica de *C. externa* exposta a voláteis de caju não infestado e infestado por *A. cocois*

O número de entradas das larvas de *C. externa* foi significativamente maior nos braços do olfatômetro contendo voláteis de plantas do genótipo EMBRAPA 51 infestadas por *A. cocois* em comparação com braços contendo voláteis de plantas não infestadas ( $\chi^2= 5.23$ ;  $df= 1$ ;  $P= 0.022$ ) (Figura 2-A). Da mesma forma, quando se comparou o tempo de residência, as larvas de *C. externa* gastaram significativamente mais tempo em minutos em braços exibindo voláteis de plantas do genótipo EMBRAPA 51 infestadas por *A. cocois* ( $t = 4,95$ ;  $df = 34$ ;  $P < 0,0001$ ) (Figura 2-B).



**FIGURA 1.** Número de entradas (A) e tempo de residência (B) das 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), no genótipo de cajueiro Embrapa 51. (\*indica diferença significativa pelo teste  $\chi^2$ , \*\*indica diferença significativa pelo teste t).

### 3.3.2 Análise dos voláteis das folhas dos genótipos de cajueiro pelo método SPME-GC-MS

Foram identificados 28 compostos voláteis no genótipo Embrapa 51 infestados e não infestados por *A. cocois*, incluindo 14 monoterpenos e 14 sesquiterpenos (Tabela 1). Constatou-se que as plantas não infestadas de Embrapa 51 emitiam 18 compostos voláteis. Esse número foi maior nas plantas de Embrapa 51 infestadas pela praga (28 compostos voláteis) (Tabela 1).

A análise química univariada dos voláteis revelou diferença quantitativa significativa para o composto limoneno, que foi liberado em maior concentração por plantas de Embrapa 51 infestadas por *A. cocois* (Tabela 1). Diferenças qualitativas também foram encontradas, uma vez que os compostos  $\alpha$ -phellandrene,  $\alpha$ -terpineno, o-cimeno, p-menta-2, 4-dieno,  $\rho$ -cimeno, alo-aromadendrano, valenceno e  $\gamma$ -cadineno só foram liberados por plantas infestadas de Embrapa 51 (Tabela 1).

**Tabela 1.** Composição volátil (porcentagem relativa; média  $\pm$  erro padrão) do genótipo de cajueiro Embrapa 51 não infestado e infestado com *A. cocois* para duas classes de compostos (Monoterpeno e Sesquiterpeno).

IR <sub>calc</sub> <sup>a</sup>	IR <sub>lit</sub> <sup>b</sup>	Composto	EMBRAPA 51		P-value
			Não infestado	Infestado	
Monoterpeno					
937	932	$\alpha$ - pinene	0.69 $\pm$ 0.19	0.95 $\pm$ 0.05	0.279 <sup>(1)</sup>
992	990	myrcene	4.01 $\pm$ 1.01	3.84 $\pm$ 0.72	0.844 <sup>(1)</sup>
999	1003	$\alpha$ - phellandrene		1.23 $\pm$ 0.70	
1007	1001	carene $\delta$ -2	67.38 $\pm$ 1.74	61.60 $\pm$ 1.41	0.07 <sup>(1)</sup>
1019	1008	carene $\delta$ -3	1.67 $\pm$ 0.04		
1027	1014	$\alpha$ - terpinene		2.71 $\pm$ 0.16	
1022	1027	o- cymene		2.94 $\pm$ 0.56	
1032	1024	limonene	1.66 $\pm$ 0.06	2.52 $\pm$ 0.11	0.018 <sup>(1)</sup>
1040	1032	cis- $\beta$ -ocimene	0.61 $\pm$ 0.47	0.60 $\pm$ 0.45	0.875 <sup>(1)</sup>
1054	1044	$\beta$ -ocimene	1.69 $\pm$ 0.53	1.57 $\pm$ 0.49	0.793 <sup>(1)</sup>
1065	1054	$\gamma$ - terpinene	0.68 $\pm$ 0.03	0.65 $\pm$ 0.06	0.742 <sup>(1)</sup>
1088	1085	p-mentha-2,4-diene		2.41 $\pm$ 0.09	
1091	1089	p- cymene		0.47 $\pm$ 0.10	
1099	1086	terpinolene	16.33 $\pm$ 0.46	13.77 $\pm$ 0.29	0.314 <sup>(1)</sup>
Sesquiterpeno					

1383	1374	$\alpha$ - copaene	$0.85 \pm 0.01$	$1.68 \pm 0.54$	0.194 <sup>(1)</sup>
1429	1417	$\beta$ - caryophyllene	$1.41 \pm 0.20$	$1.73 \pm 0.52$	0.629 <sup>(1)</sup>
1440	1434	$\gamma$ - elemene	$0.15 \pm 0.06$	$0.27 \pm 0.19$	0.282 <sup>(1)</sup>
1464	1452	$\alpha$ - humulene	$0.09 \pm 0.03$	$0.10 \pm 0.05$	0.843 <sup>(1)</sup>
1471	1460	deydro- aromadendrane	$0.12 \pm 0.04$	$0.03 \pm 0.03$	0.138 <sup>(1)</sup>
1460	1458	<i>allo</i> -aromadendrane		$0.24 \pm 0.11$	
1484	1478	$\gamma$ -muurolene	$0.08 \pm 0.05$	$0.16 \pm 0.03$	0.101 <sup>(2)</sup>
1490	1480	Germacrene D	$0.06 \pm 0.04$	$0.19 \pm 0.05$	0.101 <sup>(1)</sup>
1497	1496	Valencene		$0.09 \pm 0.05$	
1505	1500	$\alpha$ - muurolene	$0.12 \pm 0.08$	$0.03 \pm 0.03$	0.196 <sup>(1)</sup>
1523	1533	$\gamma$ - cadinene		$0.04 \pm 0.04$	
1511	1509	$\alpha$ - bulnesene	-	$0.06 \pm 0.03$	
1532	1533	$\delta$ - cadinene	$0.22 \pm 0.04$	$0.38 \pm 0.01$	0.176 <sup>(1)</sup>
1553	1545	selina-3,7(11)-diene		$0.07 \pm 0.04$	

Valores médios seguidos pela mesma letra em uma linha são iguais ( $P > 0,05$ ).

(1) Valores de P do teste t.

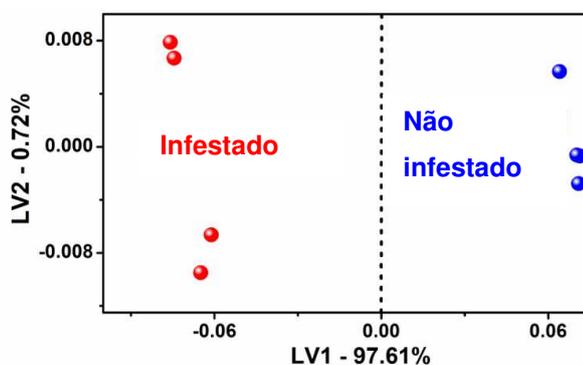
(2) Valores de P do teste exato de Wilcoxon.

(a) Índice de retenção calculado.

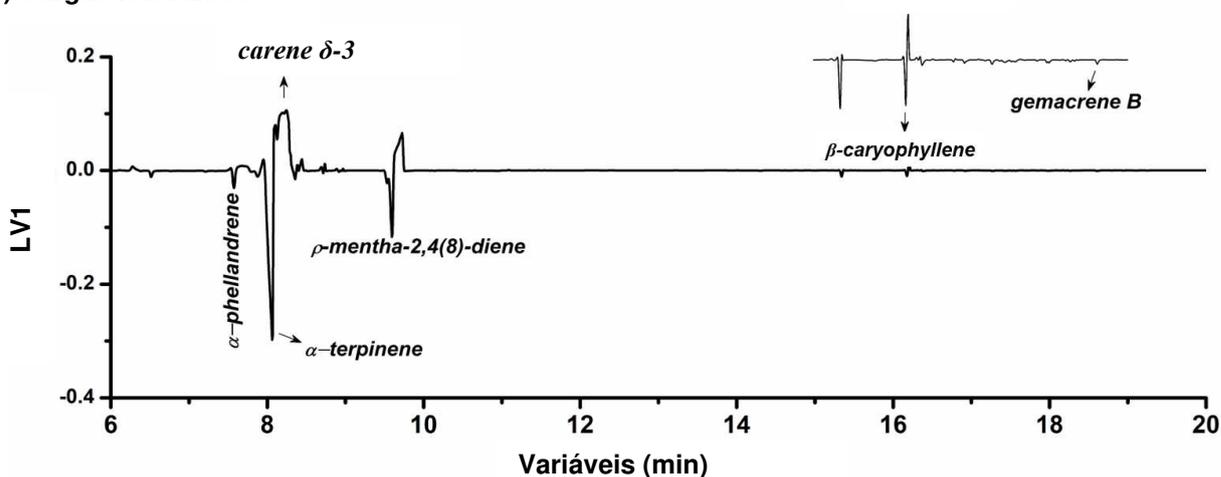
(b) Índice de retenção da Literatura (ADAMS, 2009).

A análise exploratória multivariada dos compostos voláteis foi importante para avaliar a variabilidade da amostra. De acordo com os resultados da classificação binária do genótipo Embrapa 51 infestado e não infestado por *A. cocois*, a separação dos compostos voláteis ocorreu principalmente ao longo do eixo LV1 (Figura 2-A; B). De acordo com as cargas, quantidades significativas dos compostos  $\alpha$ -phelandrene,  $\alpha$ -terpineno,  $\rho$ -mentha-2,4(8)-diene,  $\beta$ -cariofileno e germacreno foram liberadas pelo genótipo Embrapa 51 infestado por *A. cocois* (Figura 2-A). Na análise univariada as variações de  $\beta$ -cariofileno e germacreno foram irrelevantes (Tabela 1) entre as amostras, apesar de sua contribuição para a análise estatística multivariada (Figura 2-B).

a) Escores

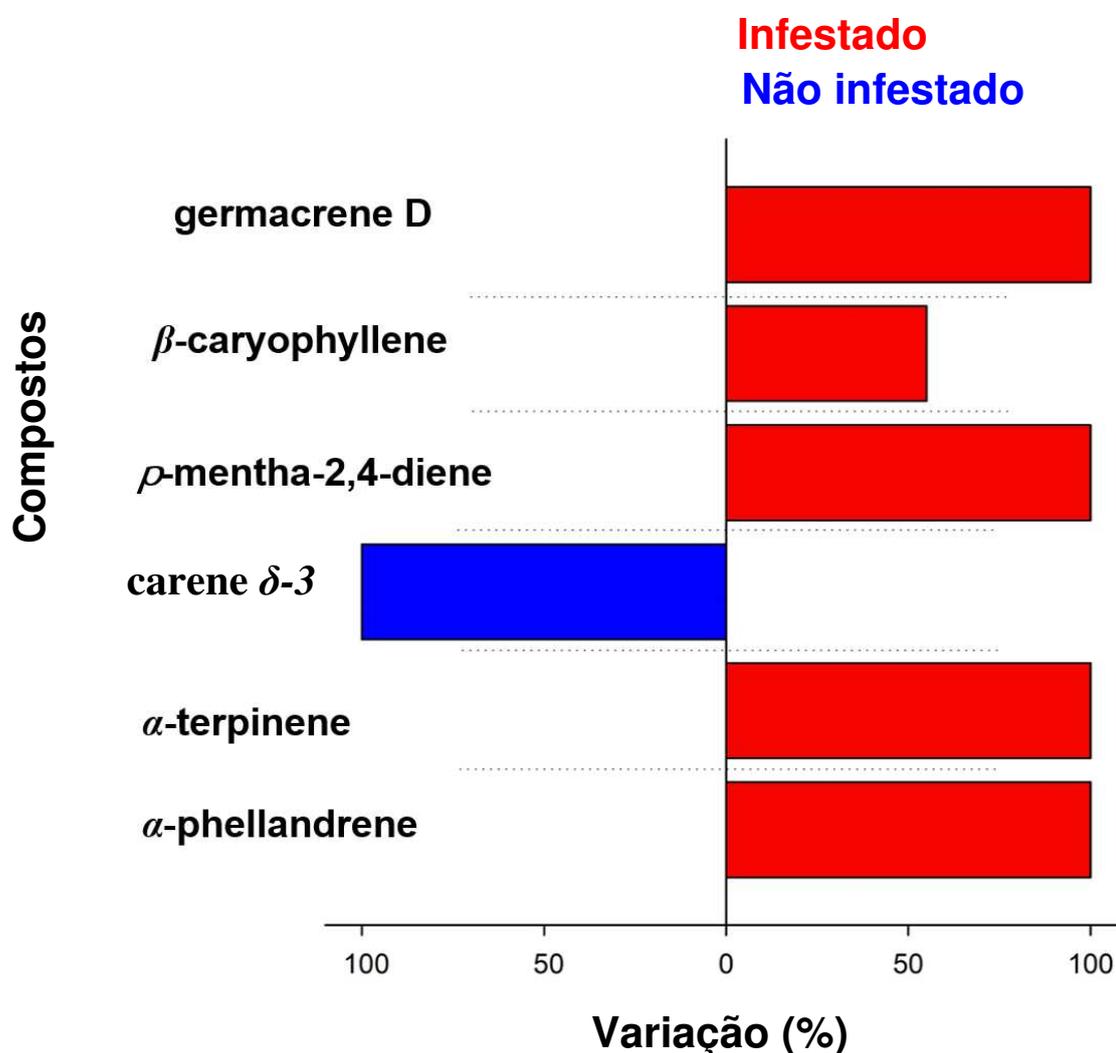


b) Cargas relevantes



**Figura 2.** Escores bidimensionais PLS-DA (LV1  $\times$  LV2) na classificação binária de compostos voláteis liberados pelo genótipo de caju Embrapa 51 com base na infestação por *A. cocois* (A). Cargas relevantes plotadas como linhas (B).

Ao avaliar as variações nas quantidades de compostos voláteis em genótipos de cajueiro infestado (vermelho) e não infestado (azul), constatou-se que  $\alpha$ -phelandreno,  $\alpha$ -terpineno e  $p$ -menta-2,4(8)-diene, foram liberados nos genótipos Embrapa 51 submetidos a infestação *A. cocois* (100%) (Figura 3). Adicionalmente, altas concentrações de germacreno (95%) e  $\beta$ -cariofileno (50%) foram liberadas por Embrapa 51 infestado por *A. cocois* (Figura 3). Em contraste, carene  $\delta$ -3 só foi liberado pelas plantas de Embrapa 51 não infestadas por *A. cocois* (Figura 3).



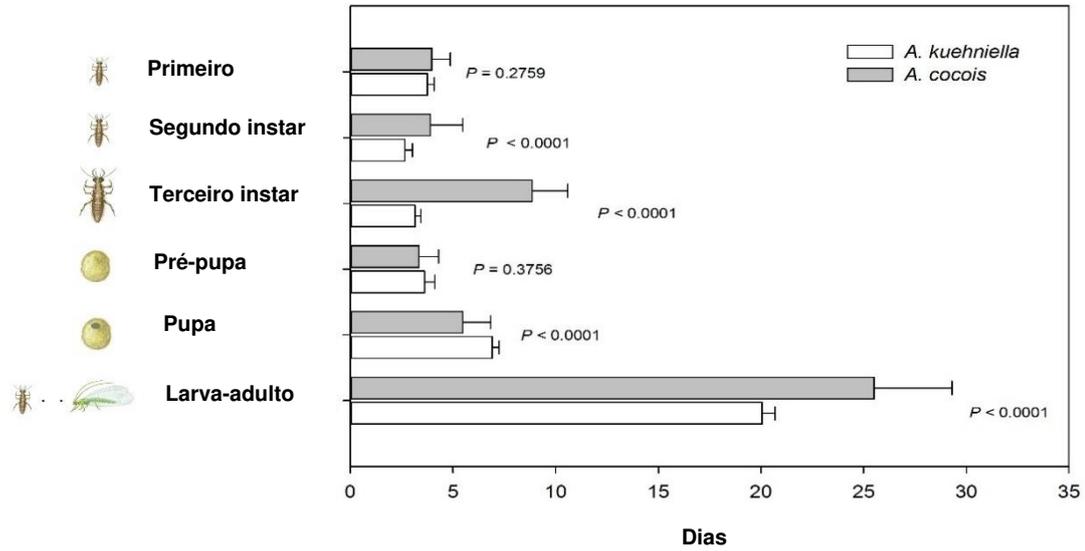
**Figura 3.** Variação (%) nas quantidades de compostos voláteis do genótipo de cajueiro Embrapa 51 não infestado (azul) e infestado (vermelho) por *A. cocois*.

### 3.3.3 Desenvolvimento biológico de *C. externa* em *A. kuehniella* e *A. cocois*.

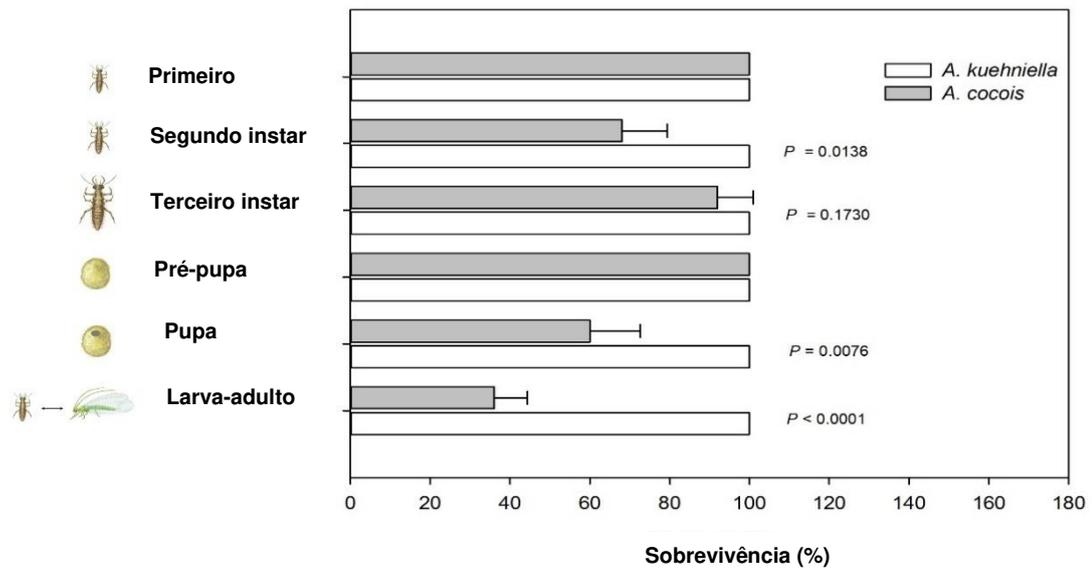
Com exceção do primeiro instar e do estágio pré-pupal, que não diferiram entre as presas, e do estágio pupal, que foi significativamente menor, todos os demais estágios imaturos de *C. externa* apresentaram maior tempo duração quando alimentados com *A. cocois* (Figura 4-A). O desenvolvimento até a fase adulta de *C. externa* foi mais rápido quando alimentado com ovos de *A. kuehniella* (Figura 4-A).

As espécies de presa afetaram a sobrevivência de *C. externa*. A sobrevivência até a fase adulta do crisopídeo foi maior ao alimentar-se de *A. kuehniella* (Figura 4-B). Com exceção do primeiro instar, terceiro instar e do estágio pré-pupal, que não diferiram entre as presas, todos os demais estágios imaturos de *C. externa* apresentaram menor sobrevivência quando alimentados com *A. cocois* (Figura 4-B).

a)



b)



**Figura 4.** Desenvolvimento (A) e a viabilidade (B) de *Chrysoperla externa* alimentada com ovos, ninfas e adultos de *A. cocois* (barras cinzas) e ovos *A. kuehniella* (barras brancas).

### 3.4 Discussão

*C. externa* é uma espécie de crisopídeo comum em cultivos de cajueiro e já foi encontrada em folhas de plantas infestadas pela mosca-branca *A. cocois*. Sabe-se que os inimigos naturais utilizam compostos voláteis de plantas danificadas por herbívoros para localizar suas presas (SALAMANCA *et al.*, 2015). Constatou-se que as larvas de terceiro instar de *C. externa* preferem os voláteis de plantas do genótipo de cajueiro Embrapa 51 infestadas por *A. cocois* em comparação com voláteis de plantas não infestadas. Este resultado é consistente com o de estudos anteriores que mostraram a preferência de *C. externa* por voláteis de plantas de rosa danificadas pelo pulgão *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Hemiptera: Aphididae) (SALAMANCA *et al.*, 2015), e por plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) infestadas por *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) quando comparado com plantas não infestadas (STRAPASSON *et al.*, 2014). Adicionalmente, Saraiva *et al.*, (2022) observaram que *C. externa* prefere voláteis de plantas de cajueiro infestadas por *A. cocois* em comparação com plantas não infestadas, e que essa preferência independe do genótipo de cajueiro utilizado.

A infestação por *A. cocois* alterou as emissões de compostos voláteis de Embrapa 51, pois de acordo com a análise de separação por agrupamento (variáveis latentes) as plantas infestadas e não infestadas do genótipo têm perfis químicos diferentes. Essas alterações podem ocorrer, pois quando atacada por um herbívoro sugador, a planta ativa vias de sinalização como a do ácido salicílico (SA), que resulta na síntese de misturas específicas incluindo os compostos voláteis induzidos por herbívoros (NIEDERBACHER *et al.*, 2015; DARSHANEE *et al.*, 2017). Esses voláteis por sua vez atuam na defesa indireta das plantas hospedeiras, uma vez que desencadeiam uma resposta de atratividade para os inimigos naturais (BIRKETT *et al.*, 2003; LI *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2018).

Neste estudo, os compostos  $\alpha$ -pheelandrene,  $\alpha$ -terpineno,  $\rho$ -mentha-2,4 (8) -dieno,  $\beta$ -caryophyllene e germacrene D foram liberados de forma proeminente por EMBRAPA 51 infestado por *A. cocois*. É provável, que esses compostos, em misturas ou de forma isolada, podem estar relacionados com a atratividade das larvas de *C. externa* para voláteis Embrapa 51 infestados. A atratividade dos inimigos naturais aos voláteis induzidos por herbívoros acontece quando o composto volátil é reconhecido por proteínas ligantes de odor presentes nas antenas dos insetos (LI *et al.*, 2018). Os crisopídeos, incluindo os do gênero *Chrysoperla*, possuem proteínas capazes de detectar o composto  $\beta$ -caryophyllene (LI *et al.*, 2018). Portanto esse composto pode ter contribuído com a atração de *C. externa* no presente estudo. De fato,  $\beta$ -caryophyllene é considerado altamente atraente para diversas espécies de crisopídeos (FLINT

*et al.*,1979). Em estudos anteriores  $\beta$ -caryophyllene também foi liberado em altas concentrações pelos genótipos de cajueiro PRO 143/7 e CCP 76 quando infestados por *A. cocois*, e foi considerado como um dos principais compostos na atração de *C. externa* (SARAIVA *et al.*, 2023).

Além de  $\beta$ -caryophyllene, os compostos  $\alpha$ -phellandreno,  $\alpha$ -terpinene e Germacrene D podem ter contribuído com a atração de *C. externa*, pois são compostos importantes para inimigos naturais, ao forragearem plantas infestadas em busca de suas presas (Manjunatha *et al.*, 1998; TAKEMOTO; TAKABAYASHI, 2015; SILVA *et al.*, 2018). Plantas de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) infestadas com *B. tabaci*, liberaram  $\alpha$ -terpinene em altas concentrações e foram atraentes a diferentes espécies de percevejos predadores da família Miridae (SILVA *et al.*, 2018). Um estudo anterior mostrou que plantas de fava (*Acyrtosiphon pisum*) infestadas pelo pulgão (*Aphis craccivora*) foram atraentes para o parasitoide *Aphidius ervi* (Hymenoptera: Braconidae) (Haliday, 1834), e que essa atratividade tinha relação com a emissão de  $\alpha$ -phellandreno (TAKEMOTO; TAKABAYASHI, 2015). Ademais, Germacrene D liberado por plantas de crisântemo (*Denranthema morifolium*) infestadas com o tripes *Frankliniella occidentalis* (Pergande), foi atraente para o ácaro predador *Amblyseius cucumeris* (Oudemans) (MANJUNATHA *et al.*, 1998). Apesar das evidências levantadas, estudos mais detalhados devem ser realizados para identificar quais dos compostos voláteis emitidos por Embrapa 51 infestado por *A. cocois* de fato contribuem na resposta de atratividade para *C. externa*. De acordo com Laznik; Trdan (2018), definir quais compostos estão atraindo um inimigo natural para plantas danificadas por herbívoros pode ser uma estratégia importante para manipular o comportamental dos predadores em programas de controle biológico

Além da capacidade perceber os compostos voláteis induzidos por herbívoros, um predador eficiente para uso em programas de controle de biológico precisa ser capaz de consumir e completar seu ciclo a partir do herbívoro presente na planta hospedeira atacada (SARAIVA *et al.*, 2023). No presente estudo, verificou-se diferenças no tempo de desenvolvimento e na sobrevivência de *C. externa* quando alimentado com *A. cocois* ou com ovos de *A. kuehniella*. Sabe-se que desigualdades no tempo de desenvolvimento e na sobrevivência de insetos predadores podem estar associadas a diferenças nutricionais das presas consumidas (PANIZZI; PARRA, 2009). O prolongamento na duração do tempo de desenvolvimento e uma redução na sobrevivência de um inseto pode ocorrer quando um determinado aminoácido imprescindível não é obtido durante a alimentação (HACKER; BERTNESS, 1996; BOTTRELL *et al.*, 1998). Costa *et al.*, (2020), verificaram um prolongamento das fases imaturas e mortalidade de todos os indivíduos no terceiro instar ninfal

de *Leucochrysa* (Nodita) *azevedoi* (Neuroptera: Chrysopidae) quando o predador se alimentou com a mosca-branca *Aleurodicus magnificus* (Costa Lima, 1928) (Hemiptera; Aleyrodidae) em comparação com ovos de *A. kuehniella*. Oliveira *et al.*, (2016) observaram prolongamento no período de duração e redução na sobrevivência das larvas de primeiro, segundo e terceiro instares de *Ceraeochrysa cubana* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) quando o predador se alimentou da mosca-negra *Aleurocanthus woglumi* (Ashby) (Hemiptera: Aleyrodidae). Portanto, é provável, que diferenças nutricionais entre *A. kuehniella* e *A. cocois* expliquem o prolongamento das fases imaturas e a menor sobrevivência de *C. externa* especialmente quando alimentado com *A. cocois*.

Diversos fatores podem influenciar a qualidade nutricional das presas, especialmente a planta hospedeira da qual o herbívoro se alimenta (PESSOA *et al.*, 2003). As folhas do cajueiro são ricas em substâncias de defesa produzidas pelo metabolismo secundário tais como: compostos fenólicos, aminoácidos aromáticos, flavonoides e compostos voláteis (GOIANA *et al.*, 2019; SARAIVA *et al.*, 2022). Esses aleloquímicos podem influenciar indiretamente na sobrevivência, desenvolvimento das larvas, bem como no peso dos predadores (HODEK, 1956; MALCOLM, 1992; HAUGE *et al.*, 1998). Portanto, no presente trabalho, larvas de *C. externa* alimentadas com *A. cocois* podem ter sido afetadas de forma adversa por aleloquímicos presentes nas folhas de cajueiro, com consequências nos parâmetros biológicos.

Além da qualidade nutricional, as presas possuem estratégias de defesa que podem exigir maior gasto energético dos inimigos naturais durante o processo de predação, com consequências nos parâmetros biológicos (COSTA *et al.*, 2020). Segundo Boughton *et al.*, (2015), as fêmeas de *Aleurodicus* ovipositam seus ovos cobrindo toda a folha atacada com uma cera branca pulverulenta. Além disso, independentemente da sua fase de desenvolvimento, a ninfa de *A. cocois* apresenta sete pares de glândulas no dorso, a partir das quais saem filamentos de cera (ARRUDA, 1971). É razoável supor que essa cera secretada pode servir de proteção, especialmente, contra os inimigos naturais. Segundo, Costa *et al.*, (2020), quando *L. azevedoi* foi obrigado a se alimentar com mosca-branca *A. magnificus* (Costa Lima, 1928), o predador não atingiu a fase adulta devido a grande quantidade de cera secretada pela mosca branca. Adicionalmente, Bortoli *et al.*, (2012) também verificaram que *Orthezia praelonga* (Douglas, 1891) (Hemiptera: Ortheziidae) foi considerada uma presa inadequada para *Ceraeochrysa paraguayaria* (Navás, 1920) (Neuroptera: Chrysopidae) devido a cera excretada pelo inseto. Portanto, é provável que cera excretada por *A. cocois* pode ter sido um problema para as larvas de *C. externa* se alimentarem, o que refletiu em tempos de desenvolvimentos maiores e menores taxas de sobrevivência.

Em conclusão, este estudo confirmou que o predador generalista *C. externa* é capaz de distinguir e selecionar plantas do genótipo de cajueiro Embrapa 51 infestadas por *A. cocois* por meio de sinais voláteis. A análise do perfil volátil fornece informações sobre os compostos envolvidos no comportamento de atratividade de *C. externa* a voláteis de Embrapa 51 infestados por *A. cocois* ( $\alpha$ -felandrene,  $\alpha$ -terpineno,  $p$ -mentha-2,4 (8) -dieno,  $\beta$ - caryophyllene e germacrene D). Adicionalmente, em condições de laboratório, *C. externa* completa o ciclo de vida quando alimentado com *A. cocois* e com ovos de *A. kuehniella*. Entretanto, *A. cocois* possibilita um desenvolvimento mais lento e uma menor sobrevivência.

## REFERÊNCIAS

- ABOU-ZAID, A. M. The Relation between the anatomical characters of five different cucumber cultivars leaves and *Tetranychus urticae* koch (acarina: actenididea: tetranychidae:) infestation under filed conditions. **Egyptian Academic Journal of Biological Sciences. A, Entomology**, [s.l], v. 6, n. 1, p. 34, 2013.
- 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.
- ADESANYA, A. W. *et al.* Mechanisms and management of acaricide resistance for *Tetranychus urticae* in agroecosystems. **Journal of Pest Science**, [s.l], v. 94, n. 1, p. 639, 2021.
- AGROFIT - **Sistema de Agrotróxicos 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.
- 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.
- AOYAMA, E. M.; LABINAS, A. M. Características estruturais das plantas contra a erva por insetos. **Enciclopédia Biosfera**, [s.l], v.8, n 15, p. 365, 2012.
- ARRUDA, E. C. **Contribuição ao estudo de *Aleurodicus cocois* Curtis, 1846 (Homoptera: Aleyrodidae) e seu controle biológico em Pernambuco**. Dissertação de Mestrado, [s.l], 1971.
- BALDIN, E. L.; VENDRAMIM, J. D; LOURENÇÃO, A. **Resistência de plantas a insetos: fundamentos e aplicações**, [s.l], p. 493, 2019.
- BALDIN, E. L.; SILVA, J. P. G; PANNUTI, L. E. R. Resistência de cultivares de melão a *Bemisia tabaci* biótipo B. **Horticultura Brasileira**, [s.l], v.30, p. 600-606, 2012.
- BARBOSA, M. F.; POLETTI, M.; POLETTI, E. C. Functional response of *Amblyseius tamatavensis* Blommers (Mesostigmata: Phytoseiidae) to eggs of *Bemisia tabaci* (Gennadius)(Hemiptera: Aleyrodidae) on five host plants. **Biological Control**, [s.l], v.138, p. 104030, 2019.
- BENSOUSSAN, N. *et al.* Plant-herbivore interaction: dissection of the cellular pattern of *Tetranychus urticae* feeding on the host plant. **Frontiers in plant science**, [s.l], v.7, p. 1105, 2016.
- BINYAMEEN, M. *et al.* Plant volatiles and their role in insect olfaction. Plant-Pest Interactions: From Molecular Mechanisms to Chemical Ecology. **Chemical Ecology**, [s.l], p. 127-156, 2021.

- 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.23, p. 1589-1600, 2003.
- BOLLAND, H. R.; GUTIERREZ, J.; FLECHTMANN, C. H. W. World Catalogue of the Spider Mite Family (Acari: Tetranychidae), with references to taxonomy, synonymy, host plants and distribution. **Brill Academic Publishers**, [s.l], p. 392, 1998.
- BORTOLI, S. A. *et al.* Aspectos biológicos de *Ceraeochrysa paraguaria* (Navás) (Neuroptera: Chrysopidae) alimentada com diferentes presas. **Ciência & Tecnologia**, [s.l], v.4, p. 1-8, 2012.
- BOTTRELL, D. G; BARBOSA, P.; GOULD, F. Manipulating natural enemies by plant variety selection and modification: A realistic strategy? **Annu. Rev. Entomol.**, [s.l], v.43, p. 347-367, 1998.
- BOUGHTON, A. J. *et al.* Host stage suitability and impact of *Encarsia noyesi* (Hymenoptera: Aphelinidae) on the invasive rugose spiraling whitefly, *Aleurodicus rugioperculatus* (Hemiptera: Aleyrodidae), in Florida. **Biological Control**, [s.l], v.88, p. 61-67, 2015.
- BRAINER, M. S. D. C. P. **Cajucultura. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil**, [s.l], p. 304, 2022.  
<[https://g20mais20.bnb.gov.br/s482dspace/bitstream/123456789/1328/1/2022\\_CDS\\_230.pdf](https://g20mais20.bnb.gov.br/s482dspace/bitstream/123456789/1328/1/2022_CDS_230.pdf)>
- BUTTER, N. S.; VIR, B. K. Morphological basis of resistance in cotton to the Whitefly *Bemisia tabaci*. **Phytoparasitica**, [s.l], v.17, p. 251-261, 1989.
- CARDOSO, J. E. *et al.* **Clone Embrapa 51: uma alternativa para resistência à resinose-do-cajueiro**. EMBRAPA-CNPAT, [s.l], 2007.
- CARNEIRO, J.S. *et al.* **Manejo do controle químico e biológico da mosca-branca-do-cajueiro *Aleurodicus cocois* na cajucultura do Piauí**. REHAGRO-RECURSOS HUMANOS DO AGRONEGÓCIO, [s.l], 2006.
- CASTRO, G. A. P. R. *et al.* **Impactos da mosca-branca na cajucultura Sanjoanense**. RELATÓRIO DA PREFEITURA DE SÃO JOÃO DA BARRA, RJ, [s.l], 2006.
- CASTRO, L. *et al.* Evaluation of the regulatory effect of *Chrysoperla externa* on whitefly *Trialeurodes vaporariorum* in tomato. **Revista de Ciências Agrícolas**, [s.l], v.33, p. 43-54, 2016.
- CAVALCANTI, J. J. V. *et al.* Avanços, desafios e novas estratégias do melhoramento genético do cajueiro no Brasil. Melhoramento Genético de Plantas no Nordeste. EMBRAPA, [s.l], p. 151-174, 2013.
- CELIN, E. F *et al.* New sources of resistance to leafminers (*Liriomyza sativae*) in melon (*Cucumis melo* L.) germplasm. **Genetics and Molecular Research**, [s.l], v.16, p. 1-12, 2017.

- 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, p. 42-50, 2020.
- DARSHANEE, H. 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.
- ESAU, K. Anatomia das plantas com sementes. **Edgard Blücher**. [s.l], p. 292, 1967
- 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.
- FÁVARO, R. R. *et al.* Morpho-physiological alterations and resistance to *Tetranychus urticae* in strawberries plants treated with salicylic acid. **Phytoparasitica**, [s.l], p. 1-12, 2022.
- FERREIRA, Z. R.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Irrigação pública e fruticultura no semiárido. **Revista de Política Agrícola**, [s.l], v. 30, n. 1, p. 34, 2021.
- FLINT, H. M. *et al.* Caryophyllene: an attractant for the green lacewing. **Environ Entomol**, [s.l], v. 6, p. 1123-1125, 1979.
- FUCK J. S. C. F. *et al.* **Clone de cajueiro-anão precoce Embrapa 51: relatório de avaliação dos impactos das tecnologias geradas pela Embrapa**. EMBRAPA-CNPAT, [s.l], 2019.
- GALLO, D. *et al.* **Entomologia agrícola**. FEALQ, [s.l], 2002.
- GAZZOLA, R.; GRÜNDLING, R. D. P.; ARAGÃO, A. A. Melão: taxas de crescimento da produção, exportação e importação. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, [s.l], v. 10, n. 3, p. 75-80, 2020.
- GEIGER, F. *et al.* Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. **Basic and Applied Ecology**, [s.l], v. 11, n. 3, p. 97-105, 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**, 2017a.
- GOIANA, E. S. *et al.* Dwarf-cashew resistance to whitefly (*Aleurodicus cocois*) linked to morphological and histochemical characteristics of leaves. **Pest management science**, [s.l], v. 76, n. 2, p. 464-471, 2020a.
- GOIANA, ES dos S. *et al.* Some biological parameters and colonization of *Aleurodicus cocois* on dwarf-cashew. **EMBRAPA-CNPAT**, [s.l], 2017b.
- 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, 2020b.

- GUEDES, R. N. C. *et al.* Pesticide-induced stress in arthropod pests for optimized integrated pest management programs. **Annual review of entomology**, [s.l], v. 61, p. 43-62, 2016.
- HACKER, S. D.; BERTNESS, M. D. Trophic consequences of a positive plant interaction. **Am. Nat.**, [s.l], v. 148, p. 559-575, 1996.
- HASANUZZAMAN, A. T. M. *et al.* Leaf morphological characters can be a factor for intra-varietal preference of whitefly *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) among eggplant varieties. **PLoS one**, [s.l], v. 11, p. e0153880, 2016.
- HAUGE, M. S. *et al.* The influence of three cereal aphid species and mixed diet on larval survival, development and adult weight of *Coccinella septempunctata*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, [s.l], v. 89, p. 319-322, 1998.
- HELLE, W.; SABELIS, M. W. Spider mites: Their biology, natural enemies and control. **Elsevier**, [s.l], p. 160, 1985.
- HODEK, I. The influence of *Aphis sambuci* L. as prey of the ladybird beetle *Coccinella septempunctata* L. **Vestník Československé Společnosti Zoologické**, [s.l], v. 20, p. 62-74, 1956.
- HOROWITZ, A. R.; ISHAAYA, I. 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, 2023. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618>. Acesso em: 10 jun. 2023.
- JAFARIAN, F. *et al.* Functional response of the predatory mite, *Typhlodromus bagdasarjani* (Acari: Phytoseiidae) to protonymphs of *Eotetranychus frosti* (Acari: Tetranychidae) on four apple cultivars. **Acarologia**, [s.l], v. 62, p. 454-464, 2022.
- JUMBO, L. O. V., *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.
- KHANAMANI, M.; FATHIPOUR, Y.; HAJIQANBAR, H. Population growth response of *Tetranychus urticae* to eggplant quality: application of female age-specific and age-stage, two-sex life tables. **International Journal of Acarology**, [s.l], v. 39, p. 638–648, 2013.
- KHEDERI, S. J., de Lillo, E, Khanjani, M, & Gholami, M (2014) Resistance of grapevine to the erineum strain of *Colomerus vitis* (Acari: Eriophyidae) in western Iran and its correlation with plant features. *Experimental and Applied Acarology*, 63, 15-35.
- KHEDERI, S. J. *et al.* Resistance of grapevine to the erineum strain of *Colomerus vitis* (Acari: Eriophyidae) in western Iran and its correlation with plant features. **Experimental and Applied Acarology**, [s.l], v. 63, p. 15-35, 2014.
- KWON, M. *et al.* Different potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars mediated life-history variables of the potato leafminer, *Liriomyza huidobrensis* (Blanchard) (Diptera: Agromyzidae). **Journal of Asia-Pacific Entomology**, [s.l], v. 20, p. 705–712, 2017.

LARCHER, W. (1986) **Ecofisiologia vegetal**. E.P.U. [s.l], p. 319, 1986.

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.

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 *Chrysoperla sinica* suggest different strategies to hunt prey. **Journal of insect physiology**, [s.l], v. 111, p. 25-31, 2018.

MALCOLM, S. B. Prey defense and predator foraging. In: CRAWLEY M. J. (Ed.). *Natural enemies: the population biology of predators, parasites and diseases*. Blackwell, Oxford, [s.l], 1992.

MANJUNATHA, M. et al. Response of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* and its predator *Amblyseius cucumeris* to chrysanthemum volatiles in olfactometer and greenhouse trials. **International Journal Tropical Insect Science**, [s.l], v. 18, p. 139-144, 1998.

MENDIBURU, F, 2023. *Agricolae: Statistical procedures for agricultural research*. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/agricolae/agricolae.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2023.

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, [s.l], 2013.

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

MORAES, G. J. de; FLECHTMANN, C. H. W. *Manual de Acarologia: Acarologia Básica e ácaros de Plantas cultivadas no Brasil*. **Ribeirão Preto: Ed Holos**, p. 308, [s.l], 2008.

MOTA, M. S. C. S.; MESQUITA, A. L. M. **Biologia e aspectos morfológicos da mosca-branca-do-cajueiro *Aleurodicus cocois* (Curtis, 1846)**. EMBRAPA-CNPAT. Comunicado Técnico, [s.l], 2018.

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.

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.

OLIVEIRA, J. M; ARAUJO, J. L.; MELO, J.W.S.; DIAS-PINI, N.S. Melon genotypes with resistance to *Liriomyza sativae* Blanchard (Diptera: Agromyzidae). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [s.l], v. e20191244, 2022.

OLIVEIRA, J. M. *et al.* Leaf morphology of melon mediates feeding and oviposition preference, and immature survival of *Liriomyza sativae* (Blanchard) (Diptera: Agromyzidae). **Phytoparasitica**, [s.l], v. 49, p. 479-489, 2021.

OLIVEIRA, J. R. *et al.* Trichomes and allelochemicals in tomato genotypes have antagonistic effects upon behavior and biology of *Tetranychus urticae*. **Frontiers in plant science**, [s.l], v. 1132, 2018.

OLIVEIRA, R. *et al.* Development and reproduction of *Ceraeochrysa cubana* (Neuroptera: Chrysopidae) fed with *Aleurocanthus woglumi* (Hemiptera: Aleyrodidae). **Semina: Ciências Agrárias**, [s.l], v. 37, n. 1, p. 17-24, 2016.

FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO, FAOSTAT. Divisão de estatística, 2023. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>>. Acesso em: 10 nov. 2023.

PANIZZI, A. R.; PARRA, J. R. P. Bioecologia e nutrição de insetos: base para o manejo integrado de pragas. **Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF**, p. 1164, [s.l], 2009.

PESSOA, L. G. A.; SOUZA, B.; SILVA, M. G.; CARVALHO, C. F. Efeito das cultivares de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) sobre alguns aspectos biológicos das fases imaturas de *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae). **Arquivos do Instituto Biológico**. [s.l], v. 70, p. 429-433, 2003.

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.

PONTES, A. G. V.; SILVA, R. T. D.; SILVA, J. D. V. Cargas de trabalho, precarização e Saúde do Trabalhador no agronegócio no semiárido do Nordeste brasileiro. **Saúde em Debate**, [s.l], v. 47, p. 729-745, 2023.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 20 set. 2023.

- 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.
- ROBBINS, P. S. et al. Volatile profiles of young leaves of Rutaceaespp. varying in susceptibility to the Asian citrus psyllid (Hemiptera: Psyllidae). **The Florida Entomologist**, [s.l], v. 95, n. 3, p. 774-776, 2012.
- SALAMANCA, J.; PAREJA, M.; RODRIGUEZ-SAONA, C.; RESENDE, A. L. S.; SOUZA, B. Behavioral responses of adult lacewings, *Chrysoperla externa*, to a rose-aphid-coriander complex. **Biological Control**, [s.l], v. 80, pág. 103-112, 2015.
- SALVIANO, A. M. et al. A cultura do melão. **EMBRAPA-CNPAT**, p. 202. [s.l], 2017.
- SANTAMARIA, M. E. et al. Plant defenses against *Tetranychus urticae*: mind the gaps. **Plants**, [s.l], v. 9, n. 4, p. 464, 2020.
- 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.
- SARAIVA, W. V. A. et al. *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera, Chrysopidae) is a good candidate for predation of *Aleurodicus cocois* (Curtis) (Hemiptera: Aleyrodidae) in cashew crop. **Arthropod-Plant Interactions**, [s.l], v. 17, n. 1, p. 99-110, 2023.
- SAS INSTITUTE. **Cary, North Carolina**. SAS Institute Incorporated, 2018.
- SEKI, K. Leaf-morphology-assisted selection for resistance to two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) in carnations (*Dianthus caryophyllus* L). **Pest Management Science**, [s.l], v. 10, p. 1926-1933, 2016.
- SHOOROOEI, M. et al. Antixenosis and antibiosis of some melon (*Cucumis melo*) genotypes to the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) and a possible mechanism for resistance. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, [s.l], v. 88, n. 1, p. 73-78, 2013.
- SILVA, C. G. et al. Development of immature stages of *Chrysoperla externa* fed on nymphs of *Bemisia tabaci* biotype B reared on three hosts. **Pesquisa agropecuária brasileira**, [s.l], v. 39, p. 1065-1070, 2004.
- SILVA, D. B. et al. Attraction of three Mirid Predators to tomato infested with both the tomato leaf mining moth *Tuta absoluta* and the whitefly *Bemisia tabaci*. **Journal of chemical ecology**, [s.l], v. 44, p. 29-39, 2018.
- SOUSA, A. L. V. et al. Behavioral response of the generalist predator *Orius insidiosus* to single and multiple herbivory by two cell content-feeding herbivores on rose plants. **Arthropod-Plant Interact**, [s.l], v. 14, p. 227-236, 2020.

STARK, J. D. *et al.* Reproductive potential: its influence on the susceptibility of a species to pesticides. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [s.l], v. 37, n. 3, p. 273-279, 1997.

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

TAKEMOTO, H.; TAKABAYASHI, J. Parasitic wasps *Aphidius ervi* are more attracted to a blend of host-induced plant volatiles than to the independent compounds. **Journal of chemical ecology**, [s.l], v. 41, p. 801-807, 2015.

VAN LEEUWEN, T. Acaricide resistance mechanisms in the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* and other important Acari: a review. **Insect biochemistry and molecular biology**, [s.l], v. 40, n. 8, p. 563-572, 2010.

VENDRAMIM, J. D.; ROSALES, E. A. C. A resistência de plantas e o manejo de pragas. In: ELL, Baldin, JD, Vendramim, & AL, Lourenção (Eds.), **Resistência de plantas a insetos: fundamentos e aplicações**. Piracicaba: Editora FEALQ. p. 435-436, [s.l], 2019.

VIDAL, M. D. F. **Produção comercial de frutas na área de atuação do BNB. Banco do Nordeste do Brasil**, 2021. p. 304, (Série documentos do ETENE, 15) Disponível em: <[https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/822/1/2021\\_CDS\\_168.pdf](https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/822/1/2021_CDS_168.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2023.

VIDAL, M. F. **Fruticultura. Banco do Nordeste do Brasil**, 2023. p. 304: (Série documentos do ETENE, 15). Disponível em: <[https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1761/1/2023\\_CDS\\_280.pdf](https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1761/1/2023_CDS_280.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2023.

VOGELMANN, T. C. Plant tissue optics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, [s.l], v. 44, n. 1, p. 231-251, 1993.

WALTHAL, W. K.; STARK, J. D. Comparison of two population-level ecotoxicological endpoints: the intrinsic (rm) and instantaneous (ri) rates of increase. **Environmental Toxicology and Chemistry**, [s.l], v. 5, p. 1068-1073, 1997.

XU, D. *et al.* The performance of *Tetranychus urticae* on five melon cultivars is correlated with leaf thickness. **Systematic and Applied Acarology**, [s.l], v. 24, n. 4, p. 645-658, 2019.

YURI, E.; RESENDE, G. M.; COSTA, N. D. Características produtivas de genótipos de melão amarelo e pele de sapo em duas épocas de plantio no submédio do vale do São Francisco. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, [s.l], v. 14, n. 2, p. 3897-3905, 2020.

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, [s.l], v. 1, n. 36, p. 126-142, 2014.

ZHANG, Z. Q. Mites of Greenhouses: Identification, Biology and Control. **CABI**, 2003.