

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROTEÇÃO DE PLANTAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CECA

JOSÉ LUCAS GUILHERME SANTOS

**POTENCIAL DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS PARA O
RECRUTAMENTO DE COCCINELÍDEOS NO MANEJO DE *Diaspis echinocacti*
(BOUCHÉ, 1833) (HEMIPTERA: DIASPIDIDAE) NA PALMA FORRAGEIRA**

Rio Largo, Alagoas
2025

JOSÉ LUCAS GUILHERME SANTOS

**POTENCIAL DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS PARA O
RECRUTAMENTO DE COCCINELÍDEOS NO MANEJO DE *Diaspis echinocacti*
(BOUCHÉ, 1833) (HEMIPTERA: DIASPIDIDAE) NA PALMA FORRAGEIRA**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para Defesa do Doutorado em Proteção de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Henrique Fonseca Goulart

Rio Largo, Alagoas
2025

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 - 1512

S237p Santos, José Lucas Guilherme.

Potencial de compostos orgânicos voláteis para o recrutamento de coccinelídeos no manejo de *Diaspis Echinocacti* (Bouché, 1833) (Hemiptera: Diaspididae) na palma forrageira. / José Lucas Guilherme Santos. – 2025.

91f.: il.

Orientador(a): Henrique Fonsceca Goulart.

Tese (Doutorado em Proteção de plantas) – Programa de Pós -Graduação em Proteção de plantas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2025.

Inclui bibliografia.

1. Escassez Hídrica. 2. Voláteis de Planta. 3. Controle Biológico. I. Título.

CDU: 632.937

JOSÉ LUCAS GUILHERME SANTOS

POTENCIAL DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS PARA O RECRUTAMENTO DE COCCINELÍDEOS NO MANEJO DE *Diaspis echinocacti* (BOUCHÉ, 1833) (HEMIPTERA: DIASPIDIDAE) NA PALMA FORRAGEIRA

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Doutor em Proteção de Plantas.
Área de Concentração: Entomologia

Aprovado em: 21/03/2025

Banca Examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Henrique Fonseca Goulart
(Universidade Federal de Alagoas)

Examinadora Interna: Profa. Dra. Roseane Cristina Predes Trindade
(Universidade Federal de Alagoas)

Examinadora Externa: Profa. Dra. Jakeline Maria dos Santos
(Agência de Defesa e Fiscalização Agropecuária do Estado de Pernambuco)

Examinador Externo: Prof. Dr. Mauricio Silva de Lima
(Universidade Federal de Alagoas)

Dedico:
A minha Mainha, Maria de Lourdes
Guilherme Santos, por ter guiado
meus pés até aqui, com muito amor,
carinho, disciplina, educação,
correção e advertências.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a Frei Damião de Bozzano por se fazerem presentes em todos os momentos de minha vida, trazendo luz à minha mente nos momentos de dificuldade, quando tudo parecia sem solução.

Agradeço profundamente aos meus familiares: Eulália Lauriane (irmã), Brenda Hellen e Laura Hellen (sobrinhas), José Guilherme e Eulália Maria Rodrigues (avós), e Maria Filomena e Damião Guilherme (tios). A dedicação e o incentivo que sempre tiveram comigo na conquista pelos meus objetivos de vida de maneira honesta.

Expresso a minha gratidão aos colegas do LPqRN por todo o apoio nos momentos de dúvida e dificuldade.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Henrique Fonseca Goulart, pela valiosa parceria acadêmica durante a realização desta tese, de modo que a sua experiência foi primordial para a condução, compreensão e discussão dos resultados obtidos.

Ao Professor Dr. Maurício Silva de Lima pelo suporte essencial na coleta, identificação e manejo dos insetos.

Ao professor Dr. Antônio Euzébio Goulart Santana pela disponibilidade e apoio constante na resolução de dúvidas relacionadas ao trabalho.

Aos agricultores dos sítios Carneiro e Batalha de baixo por cederem suas propriedades para realização do experimento em campo.

Ao programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas por proporcionar meios para a realização de minha capacitação acadêmica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

RESUMO

O semiárido do Nordeste Brasileiro, caracteriza-se pela ocorrência de chuvas irregulares, as quais interferem na alimentação de rebanhos da região, principalmente na pecuária, sendo a região com a maior área cultivada de palma forrageira para suprir as necessidades de forragem para os animais em períodos de escassez hídrica. Contudo, diversas pragas são responsáveis por perdas de produção, com destaque para a cochonilha de escama *Diaspis echinocacti* (Bouché, 1833) (Hemiptera: Diaspididae). Porém, a utilização de variedades resistentes, associadas com o controle biológico de pragas no recrutamento de inimigos naturais podem contribuir para o cultivo desta forragem. Com isso, o objetivo deste trabalho foi estudar os compostos orgânicos voláteis emitidos de variedades de palma forrageira sem e com infestação de *D. echinocacti* e a resposta comportamental dos inimigos naturais *Coccidophilus citricola* (Brèthes, 1905) (Coleoptera: Coccinellidae) e *Zagreus bimaculosus* (Mulsant) (Coleoptera: Coccinellidae) aos extratos da planta infestada. Para a realização da coleta dos compostos orgânicos voláteis das cinco variedades de palma forrageira com e sem infestação pela praga foi através do processo de aeração e em seguida fez-se a dessorção por hexano bidestilado, como também, os bioensaios comportamentais foram testados com os extratos da planta infestada na resposta do recrutamento dos predadores. A identificação dos compostos foi realizada pela espectrometria de massas (CG-EM) e submetidos às análises multivariadas. Foram identificados o número de compostos para a variedades F8, redonda, sertânia, africana e miúda, sendo respectivamente, 23, 13, 13, 18 e 23 COVs. Os bioensaios comportamentais comprovaram que os predadores se sentem recrutados por plantas infestadas pela cochonilha de escama. As análises multivariadas mostraram que as variedades de palma forrageira emitem COVs em concentrações diferentes.

Palavras-chave: Escassez hídrica; voláteis de planta; Controle biológico.

ABSTRACT

The semiarid region of Northeast Brazil is characterized by irregular rainfall, which interferes with the feeding of livestock in the region, especially livestock farming. It is the region with the largest area cultivated with forage palm to meet the forage needs of animals in periods of water scarcity. However, several pests are responsible for production losses, especially the scale insect *Diaspis echinocacti* (Bouché, 1833) (Hemiptera: Diaspididae). However, the use of resistant varieties, associated with biological control of pests in the recruitment of natural enemies, can contribute to the cultivation of this forage. Therefore, the objective of this work was to study the volatile organic compounds emitted from forage cactus varieties with and without infestation of *D. echinocacti* and the behavioral response of the natural enemies *Coccidophilus citricola* (Brèthes, 1905) (Coleoptera: Coccinellidae) and *Zagreus bimaculosus* (Mulsant) (Coleoptera: Coccinellidae) to the extracts of the infested plant. To collect the volatile organic compounds from the five forage cactus varieties with and without infestation by the pest, the aeration process was performed, followed by desorption by double-distilled hexane. Behavioral bioassays were also tested with the extracts of the infested plant in the response of predator recruitment. The identification of the compounds was performed by mass spectrometry (CG-EM) and subjected to multivariate analysis. The number of compounds identified for the varieties F8, redonda, sertânia, africana and miúda were 23, 13, 13, 18 and 23 VOCs, respectively. Behavioral bioassays proved that predators feel recruited by plants infested by scale insects. Multivariate analyses showed that forage cactus varieties emit VOCs in different concentrations.

Keywords: Water scarcity; plant volatiles; Biological control.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cultivo de palma forrageira em canteiros e vasos	36
Figura 2 - Infestação de palma forrageira a partir de cladódios já infestados por <i>Diaspis echinocacti</i> por meio da técnica “sanduíche”	37
Figura 3 - Processo de aeração em palma forrageira da variedade F8 sadia e infestada por <i>Diaspis echinocacti</i>	39
Figura 4 - Bioensaios comportamentais em olfatômetro em Y com os inimigos naturais <i>Coccidophilus citricola</i> e <i>Zagreus bimaculosus</i>	41
Figura 5 - Ionograma dos extratos da variedade de palma forrageira F8 (sadia e infestada pela cochonilha de escama).....	43
Figura 6 - Ionograma dos extratos da variedade de palma forrageira Orelha de Onça (sadia e infestada pela cochonilha de escama).....	45
Figura 7 - Ionograma dos extratos da variedade de palma forrageira Sertânia (sadia e infestada pela cochonilha de escama).....	46
Figura 8 - Ionograma dos extratos da variedade de palma forrageira Orelha de Elefante Africana (sadia e infestada pela cochonilha de escama)	48
Figura 9 - Ionograma dos extratos da variedade de palma forrageira Miúda ou doce (sadia e infestada pela cochonilha de escama).....	50
Figura 10 - Resposta comportamental de machos (n=40) e fêmeas (n=40) de <i>Coccidophilus citricola</i> para extratos das cinco variedades de palma forrageira após a infestação por <i>Diaspis echinocacti</i> , variedade sertânia (A); variedade miúda (B); variedade F8 (C); variedade redonda (D) e variedade africana (E)	55
Figura 11 - Resposta comportamental de machos (n=40) e fêmeas (n=40) de <i>Zagreus bimaculosus</i> para extratos das cinco variedades de palma forrageira após a infestação pela <i>Diaspis echinocacti</i> , variedade sertânia (A); variedade miúda (B); variedade F8 (C); variedade redonda (D) e variedade africana (E)	56
Figura 12 - Olfatômetro de 4 braços. (1) braço com o tratamento; (2), (3) e (4) braços com o controle; (5) área central.....	71
Figura 13 - Respostas do inseto provenientes do software OLFA pós bioensaio.....	72
Figura 14 - Localização geográfica das áreas de instalação das armadilhas nas comunidades rurais de Carneiro e Batalha de Baixo, no município de Livramento, PB	73
Figura 15 - Armadilhas utilizadas no teste em campo para a captura dos inimigos naturais <i>C. citricola</i> e <i>Zagreus bimaculosus</i>	74

Figura 16 - Comportamento do inimigo natural <i>Zagreus bimaculosus</i> em resposta às concentrações do composto nonanal, expressas em $\text{ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, avaliado com um total de 40 insetos por teste	76
Figura 17 - Comportamento do inimigo natural <i>Coccidophilus citricola</i> em resposta às concentrações do composto nonanal, expressas em $\text{ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, avaliado com um total de 40 insetos por teste	77
Figura 18 - Comportamento do inimigo natural <i>Zagreus bimaculosus</i> em resposta às concentrações do composto linalol, expressas em $\text{ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, avaliado com um total de 40 insetos por teste	78
Figura 19 - Comportamento do inimigo natural <i>Coccidophilus citricola</i> em resposta às concentrações do composto linalol, expressas em $\text{ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, avaliado com um total de 40 insetos por teste	79
Figura 20 - Comportamento do inimigo natural <i>Zagreus bimaculosus</i> em resposta às concentrações do composto tetradecano, expressas em $\text{ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, avaliado com um total de 40 insetos por teste	80
Figura 21 - Comportamento do inimigo natural <i>Coccidophilus citricola</i> em resposta às concentrações do composto tetradecano, expressas em $\text{ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, avaliado com um total de 40 insetos por teste	81
Figura 22 - Comportamento do inimigo natural <i>Zagreus bimaculosus</i> em resposta às concentrações do composto β -ocimeno, expressas em $\text{ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, avaliado com um total de 40 insetos por teste	82
Figura 23 - Comportamento do inimigo natural <i>Coccidophilus citricola</i> em resposta às concentrações do composto β -ocimeno, expressas em $\text{ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, avaliado com um total de 40 insetos por teste	83
Figura 24 - Avaliação do comportamento do inimigo natural <i>C. citricola</i> em concentrações de tetradecano, linalol, β -ocimeno e nonanal em olfatômetro de quatro braços, A) Número de entradas e B) Tempo de permanência.....	84
Figura 25 - Avaliação do comportamento do inimigo natural <i>Z. bimaculosus</i> em concentrações de tetradecano, linalol, β -ocimeno e nonanal em olfatômetro de quatro braços, A) Número de entradas e B) Tempo de permanência.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variedades de palma forrageira dos gêneros <i>Opuntia</i> (resistentes) e <i>Nopalea</i> (suscetíveis) à <i>Diaspis echinocacti</i>	35
Tabela 2 - Compostos orgânicos voláteis identificados na variedade de palma forrageira F8 sadia e infestada por <i>Diaspis echinocacti</i>	43
Tabela 3 - Compostos orgânicos voláteis identificados na variedade de palma forrageira Orelha de Onça sadia e infestada por <i>Diaspis echinocacti</i>	45
Tabela 4 - Compostos orgânicos voláteis identificados na variedade de palma forrageira Sertânia sadia e infestada por <i>Diaspis echinocacti</i>	47
Tabela 5 - Compostos orgânicos voláteis identificados na variedade de palma forrageira Orelha de Elefante Africana sadia e infestada por <i>Diaspis echinocacti</i>	48
Tabela 6 - Compostos orgânicos voláteis identificados na variedade de palma forrageira Miúda sadia e infestada por <i>Diaspis echinocacti</i>	50
Tabela 7 - Compostos orgânicos voláteis presentes e ausentes nas cinco variedades de palma forrageira sadia e infestada por <i>Diaspis echinocacti</i>	52
Tabela 8 - Compostos com concentração calculada através da curva de calibração com padrão interno nonanal	75

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Representação de scores plot da análise discriminante de mínimos quadrados parciais (PLS-DA) (A); Análise das variáveis importantes na projeção VIP scores (PLS-DA) para a discriminação entre as amostras, em ordem decrescente (B) referentes a variedade de palma forrageira F8 sadia e infestada por <i>Diaspis echinocacti</i>	58
Gráfico 2 - Representação de scores plot da análise discriminante de mínimos quadrados parciais (PLS-DA) (A); Análise das variáveis importantes na projeção VIP scores (PLS-DA) para a discriminação entre as amostras, em ordem decrescente (B) referentes a variedade de palma forrageira sertânia sadia e infestada por <i>Diaspis echinocacti</i>	59
Gráfico 3 - Representação de scores plot da análise discriminante de mínimos quadrados parciais (PLS-DA) (A); Análise das variáveis importantes na projeção VIP scores (PLS-DA) para a discriminação entre as amostras, em ordem decrescente (B) referentes a variedade de palma forrageira orelha de elefante africana sadia e infestada por <i>Diaspis echinocacti</i>	60
Gráfico 4 - Representação de scores plot da análise discriminante de mínimos quadrados parciais (PLS-DA) (A); Análise das variáveis importantes na projeção VIP scores (PLS-DA) para a discriminação entre as amostras, em ordem decrescente (B) referentes a variedade de palma forrageira redonda ou orelha de onça sadia e infestada por <i>Diaspis echinocacti</i>	61
Gráfico 5 - Representação de scores plot da análise discriminante de mínimos quadrados parciais (PLS-DA) (A); Análise das variáveis importantes na projeção VIP scores (PLS-DA) para a discriminação entre as amostras, em ordem decrescente (B) referentes a variedade de palma forrageira miúda sadia e infestada por <i>Diaspis echinocacti</i>	62
Gráfico 6 - Número de insetos adultos <i>C. citricola</i> capturados nas armadilhas contendo diferentes compostos voláteis (nonanal, linalol, tetradecano e β -ocimeno) testados isoladamente, além de uma formulação combinada , comparados a um controle sem atrativo	86
Gráfico 7 - Número de insetos adultos <i>Z. bimaculosus</i> capturados nas armadilhas contendo diferentes compostos voláteis (nonanal, linalol, tetradecano e β -ocimeno) testados isoladamente, além de uma formulação combinada , comparados a um controle sem atrativo	87

LISTA DE SIGLAS

CECA	Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
CG-FID	Cromatografia Gasosa acoplada ao Detector de Ionização em Chama
CG-MS	Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massa
COVs	Compostos Orgânicos Voláteis
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPA	Instituto Agrônômico de Pernambuco
IR	Índice de Retenção
LPqRN	Laboratório de Pesquisa em Recursos Naturais
MIP	Manejo Integrado de Pragas
PLS-DA	Análise Discriminante por Mínimos Quadrados Parciais
SEDUC	Secretaria de Estado da Educação de Alagoas
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
VIP	Variáveis Importantes na Projeção

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	Erro! Indicador não definido.
2. REFÊRENCIAL TEÓRICO	Erro! Indicador não definido.
2.1. Palma Forrageira.....	18
2.2. A cochonilha de escama <i>Diaspis echinocacti</i> (Bouché, 1833).....	19
2.3. Inimigos naturais da cochonilha de escama	20
2.4. Ecologia Química de insetos e semioquímicos voláteis	22
2.5. Interações tritróficas e o manejo integrado de pragas (MIP)	23
2.6. Mecanismo de resistência de plantas	25
REFERÊNCIAS	27
CAPÍTULO I	33
3. Caracterização de voláteis emitidos de variedades de palma forrageira resistentes e suscetíveis à cochonilha de escama <i>Diaspis echinocacti</i> (Bouché, 1833) (Hemiptera: Diaspididae).....	33
4.1. INTRODUÇÃO	34
4.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	35
4.2.1. Obtenção das variedades de palma forrageira e plantio das raquetes.....	35
4.2.2. Criação da cochonilha de escama	36
4.2.3. Infestação das variedades de palma forrageira	37
4.2.4. Coleta e criação dos inimigos naturais <i>Coccidophilus citricola</i> e <i>Zagreus bimaculosus</i> em casa de vegetação.....	37
4.3. Coleta dos compostos orgânicos voláteis das cinco variedades de palma forrageira	38
4.4. Cromatografia gasosa acoplada ao Detector de Ionização em Chama (CG-FID).....	39
4.5. Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrometria de Massas (CG-EM).....	39
4.6. Bioensaios comportamentais	40
4.7. Análise Estatística	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1. Identificação dos compostos orgânicos voláteis de palma forrageira sadia e infestada por <i>Diaspis echinocacti</i>	42
5.2. Bioensaios comportamentais dos extratos das cinco variedades de palma forrageira frente ao ataque de <i>Diaspis echinocacti</i> com os dois inimigos naturais <i>Coccidophilus citricola</i> e <i>Zagreus bimaculosus</i>	54
5.3. Análises de componentes principais com base nas áreas dos COVs	57

6. CONCLUSÕES.....	63
REFERÊNCIAS	64
CAPÍTULO II.....	68
7. Avaliação das concentrações de compostos orgânicos voláteis de palma forrageira em resposta ao recrutamento de inimigos naturais <i>Coccidophilus citricola</i> (Brèthes, 1905) (Coleoptera: Coccinellidae) e <i>Zagreus bimaculosus</i> (Mulsant, 1850) (Coleoptera: Coccinellidae).....	68
8.1. INTRODUÇÃO	69
8.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	70
8.2.1. Quantificação dos compostos	70
8.2.2. Bioensaios comportamentais em olfatômetro em Y	70
8.2.3. Bioensaios comportamentais em olfatômetro de 4 braços	70
8.3. Teste de campo	72
8.3.1. Local	72
8.3.2. Montagem das armadilhas	73
8.4. Análise estatística	74
9. RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
9.1. Bioensaios comportamentais no recrutamento de <i>Coccidophilus citricola</i> e <i>Zagreus bimaculosus</i> induzido por compostos voláteis nonanal, linalol, tetradecano e β-ocimeno.	75
9.2. Teste de campo	85
10. CONCLUSÕES.....	88
REFERÊNCIAS	89

1. INTRODUÇÃO

A palma forrageira é uma cactácea amplamente distribuída no semiárido brasileiro e em regiões áridas e Semiáridas ao redor mundo, em razão de conseguir se desenvolver em condições de elevadas temperaturas, períodos longos de estiagem e ser cultivada em solos com baixa fertilidade, assegurando assim, forragem para os rebanhos ao longo do ano e, principalmente em anos de seca prolongada (DUBEUX JR. *et al.*, 2022).

A produção de forragem proveniente de palma forrageira cultivada no semiárido nordestino é, em sua maioria, resultado do sistema de sequeiro, sendo capaz de alcançar uma produtividade elevada. No Nordeste brasileiro ao decorrer das décadas a atividade de cultivo da palma forrageira segue se expandindo abrangendo uma área cultivada com vários genótipos, principalmente de palma forrageira miúda (*Nopalea*) e gigante (*Opuntia*) superior a 600.000 ha, em virtude das condições edafoclimáticas da região, contribuindo assim, para assegurar a atividade da pecuária, pois pode ser disponibilizada aos animais na forma de raquete inteira verde ou picada (BEZERRA *et al.*, 2020).

Diversas pragas e doenças atacam de maneira severa áreas com plantio de palma forrageira, com destaque para os insetos da ordem Hemiptera, sobretudo, as cochonilhas do carmim *D. opuntiae* e a de escama *Diaspis echinocacti* (Bouché, 1833) (Hemiptera: Diaspididae), que ocasionam diversos prejuízos para a agropecuária como a escassez de forragem nos períodos de escassez hídrica, déficit na economia da região, insegurança alimentar e entre outros fatores (NASCIMENTO *et al.*, 2020).

A cochonilha de escama é considerada uma praga de grande importância para a cultura, em razão da sua dificuldade de controle, tornando-se inviável o uso de inseticidas em virtude de o produto não conseguir alcançar toda a planta e as mesmas servirem como forragem para os rebanhos (FIGUEREDO, 2018).

Com isso, algumas variedades de palma forrageira são capazes de liberar compostos orgânicos voláteis, logo depois de serem atacadas pelo inseto *D. echinocacti*, os quais são sintetizados somente nessa circunstância, distinguindo a planta que passa pelo impacto da herbivoria das demais, devido determinadas espécies emitirem COVs que são responsáveis pelo agravamento no recrutamento do inseto praga, resultando em plantas resistentes e suscetíveis (HARE; SUN, 2011; DUDAREVA *et al.*, 2006).

A cochonilha de escama apresenta preferência no ataque as variedades de palma forrageira pertencentes ao gênero *Nopalea* como a palma miúda, enquanto, a cochonilha do carmim prioriza o ataque na palma gigante do gênero *Opuntia*, com isso, objetivou-se

investigar os compostos orgânicos voláteis de palma forrageira dos gêneros *Nopalea* e *Opuntia* associados a *Diaspis echinocacti* e a comunicação no recrutamento de inimigos naturais dessa praga.

2.0 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Palma Forrageira

A palma forrageira com centro de origem no México, encontra-se distribuída atualmente em todos os continentes, com exceção das regiões polares, atuando na restauração de áreas degradadas, produção de cosméticos, e contribuindo para a prosperidade socioeconômica de propriedades rurais pequenas, médias e de grande porte, sendo uma planta pertencente ao Reino Vegetal ou Plantae, divisão Angiospermae, classe Dicotyledoneae, subclasse Archiclamideae, gênero *Opuntia*, subgênero *Opuntiae nopalea* e família Cactaceae, apresentando cerca de 130 gêneros e 1.500 espécies (SILVA *et al.*, 2020).

No Brasil essa forrageira apresenta uma área cultivada em torno de 600 mil ha, no qual predomina o cultivo das palmas dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea* (SALVADOR *et al.*, 2021). As cultivares dos gêneros *Nopalea* (palma miúda ou palma doce) e *Opuntiae* (gigante e redonda), pertencentes a família cactácea, apresentam alto teor de umidade, com isso, reduz os impactos negativos impostos pela seca (SANTANA *et al.*, 2019). A palma gigante apresenta elevada produção e capacidade de resistência a longos períodos de estiagem hídrica, porém, não oferece todos os nutrientes necessários ao desenvolvimento dos animais e de difícil palatabilidade, em contrapartida, a palma miúda é mais escolhida pelos rebanhos, e menos resistente ao período de seca (SILVA; SAMPAIO, 2015).

Na região Nordeste caracteriza-se por ser uma das principais alternativas de forragem em períodos de estiagem hídrica, indicando um teor de água de 90%, com características morfológicas e fisiológicas que permite adapta-se a regiões semiáridas, logo, sendo de interesse para os rebanhos de bovinos e caprinos dos produtores rurais acometidos por baixos índices pluviométricos (COELHO JÚNIOR *et al.*, 2020; SALDANHA *et al.*, 2023).

Trata-se de uma cultura que vem sendo cultivada no semiárido nordestino em virtude de sua adaptação as condições edafoclimáticas da região. Apresentando baixo custo, alta eficiência, resistência a elevadas temperaturas no período diurno, escassez hídrica, desenvolve-se em solos de baixa fertilidade, e exibe alto rendimento de biomassa (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Mesmo apresentando características adequadas para a maioria da região, é preciso levar em consideração o fator da localidade de implantação da cultura, visto que, locais que apresentam temperaturas noturnas altas e baixas altitudes, em conjunto com precipitações menores que 400 mm ao ano, não são indicadas para o cultivo da palma forrageira (MEDEREIROS *et al.*, 2015).

Nos últimos anos, contata-se uma diminuição na produtividade da palma forrageira no território nacional, sendo afetada por pragas e doenças (componentes bióticos) e por elementos químicos, físicos e geológicos do ambiente (componentes abióticos), os quais causam insuficiência no aproveitamento da cultura, estando a cochonilha de escama *D. echinocacti* entre as pragas que vem se tornando de grande importância pelos danos severos causados na cultura (CHAGAS, 2017).

2.2. A cochonilha de escama *Diaspis echinocacti* (Bouché, 1833)

No Brasil, existem duas espécies de cochonilhas que provocam injúrias e diminuição da produção em plantios de palma na região do Nordeste do Brasil, sendo a *Dactylopius opuntiae* (Cockerell, 1896) (Hemiptera: Dactylopiidae) a cochonilha do carmim e *D. echinocacti* conhecida como cochonilha de escama, piolho ou mofo da palma, englobando cerca de 418 gêneros e aproximadamente 2600 espécies atuando como uma praga-chave da família cactaceae, estando distribuída mundialmente em casa de vegetação e em cultivos abertos (LIMA, 2011; LACERDA *et al.*, 2023; IMANE *et al.*, 2022).

A cochonilha de escama teve seu registro a partir da superfície de hospedeiros suculentos e superfícies lisas de cactos, apresentando um ciclo biológico que dura em média 45 dias, com sua reprodução podendo ser por partenogênese telítica ou por anfigonia, em que nascem machos e fêmeas, os quais apresentam um escudo de cera. Os machos são semelhantes a pequenos mosquitos, com uma duração média de vida de dois a três dias, enquanto as fêmeas ficam presas aos cladódios, com várias gerações ao ano, em que cada fêmea realiza a postura de uma média de 150 ovos (MARQUES *et al.*, 2017; ALMEIDA, 2012).

A dispersão da cochonilha de escama ocorre de maneira ascendente, por se tratar de um inseto que vive no solo, e começa a infestar a planta de baixo para cima, em que a infestação se dá nos cladódios primários e/ou secundários, causando danos e injúrias na cultura da palma forrageira desde os estágios de crescimento vegetativo, floração, frutificação e pós-colheita (SILVA *et al.*, 2014).

As suas colônias expõem uma multiplicação e infestação rápida na superfície dos cladódios, sendo responsáveis pela debilidade, amarelecimento, murchamento, podridões e queda, ocasionando o tombamento da planta seguido de sua morte, caso nenhuma medida de controle seja adotada (ALBUQUERQUE JUNIOR *et al.*, 2023).

O controle da cochonilha de escama é muito difícil, visto que, o uso de inseticidas químicos não é uma alternativa adequada, pois mediante a alimentação dos animais e

consequente contaminação da carne, causa danos indiretos, em consequência do depósito de resíduos nos cladódios, além da imprecisão de um determinado produto químico em conseguir atingir o nível de controle da praga, devido aos atributos transmitidos entre as espécies de insetos envolvidas, através de uma pressão seletiva (RAMDANI *et al.*, 2021).

A aplicação do manejo integrado de pragas (MIP) é bastante utilizado para o cultivo dessa planta, o qual visa o cultivo de variedades resistentes, emprego de pulverizações com óleos vegetais, realizações de capinas frequentes, adubações orgânicas e/ou químicas durante todo o ciclo da cultura, corte de cladódios infestados, uso de inseticidas seletivos, com destaque para o controle biológico que é capaz de atuar isolado e/ou em conjunto com programas de MIP, possuindo potencial para atuar em associação com as interações tritróficas, entre o herbívoro, inimigos naturais e variedades resistentes que tem se mostrando também uma alternativa eficaz para o controle deste inseto praga, dado que tais plantas emitem compostos que agem no recrutamento de inimigos naturais (joaninhas e vespas), visto que, os Estados de Alagoas e Pernambuco tais insetos, apresentam-se atuantes (CARVALHO *et al.*, 1978; SANTOS *et al.*, 2006; LIRA *et al.*, 2019).

2.3. Inimigos naturais da cochonilha de escama

Ao redor do mundo, várias espécies de predadores são empregadas na agricultura como, as joaninhas (Coccinellidae), larvas de moscas (Syrphidae), larvas de bicho-lixeiro (Chrysopidae), entre outras, em programas de controle biológico. O controle biológico, é uma tecnologia adicional ou alternativa ao uso de agrotóxicos, contribuindo para a produção de uma agricultura sustentável, que busca a preservação de ecossistemas e espécies, apresentando como uma das suas funções primordiais a interferência na densidade de infestação do inseto herbívoro nas culturas (ALMEIDA *et al.*, 2017).

Os insetos da família Coccinellidae atuam controlando a densidade populacional de várias pragas como cochonilhas, lagartas e entre outros, os quais são denominados de joaninhas. A joaninha, *Coccidophilus citricola* (Brèthes, 1905) (COLEOPTERA: COCCINELLIDAE) é um dos principais inimigos naturais no território brasileiro da cochonilha de escama *D. echinocacti*, na qual preda ovos, ninfas e adultos, contribuindo assim para o controle dessa praga (FONTES; VALADARES-INGLIS, 2020).

Essa espécie de cochonilha, a *C. citricola* apresenta larvas com aproximadamente 0,7 mm no primeiro estágio, sendo na fase adulta, os machos com 1,19 mm e as fêmeas com 1,22 mm de comprimento, e apresentam o tegumento negro e brilhante, tendo o comportamento de

colocar seus ovos em cima das carapaças das cochonilhas. Este predador age sobre *D. echinocacti* rompendo com as mandíbulas o contorno das carapaças, podendo acontecer que não ocorra uma predação completa da praga, contudo, a cochonilha de escama fica mais suscetível ao surgimento de infecções por microrganismos patogênicos e sujeitas a investidas de outros inimigos naturais (SILVA *et al.*, 2003).

As larvas de *C. citricola* em temperaturas de 24 °C são capazes de realizar a predação de 45 ninfas, enquanto no quarto estágio larval chega a alcançar 50% da totalidade. As fêmeas são responsáveis pela maior quantidade de consumo de ninfas, seja em qualquer fase do ciclo biológico da cochonilha, expondo sua importância na implantação de programas que objetivem trabalhar com insetos predadores em plantios de palma forrageira (DANTAS *et al.*, 2018).

Outra espécie de Coccinellidae, de importância como predador das cochonilhas que ocorrem na palma forrageira, têm-se a joaninha *Zagreus bimaculosus* (Mulsant) (Coleoptera: Coccinellidae), a qual é encontrada em todas as regiões do Brasil, por se tratar de um inseto nativo de ocorrência em cultivos de palma forrageira, na citricultura, hortaliças e em grandes culturas como a soja (LIMA *et al.*, 2016).

A forma de identificação do dimorfismo sexual ocorre através da contagem dos esternitos, sendo respectivamente para machos e fêmeas, seis e cinco perceptíveis a olho nu, com os adultos, apresentando uma coloração castanha alaranjada com pontos circulares de cor escura em seus élitros (CORRÊA, 2008).

Trata-se de um inseto com um comprimento variando entre 9 e 12 mm, e longevidade média do seu ciclo de vida entre fêmeas e machos sendo de aproximadamente 86 e 112 dias, respectivamente, quando a presa é a cochonilha de escama, com desenvolvimento favorável em temperatura por volta de 27 °C, apresentando uma incubação entorno de 12 a 15 dias e viabilidade acima dos 60%, com uma média de 130 ovos por cada fêmea, e quatro estágios até a fase adulta, exercendo a função de predador na sua forma de larva até quando adulto, tratando-se de um aspecto favorável na sua alimentação de insetos que desempenham o papel de herbívoros nas culturas, sendo também utilizado em experimentos de controle biológico de pragas agrícolas (CASTRO, 2011).

Ambos os insetos conseguem contribuir para a manutenção da estabilidade biológica dos ecossistemas ao qual estão inseridos, controlando os elevados níveis de populações de pragas agrícolas, por meio da competição, parasitismo, predatismo, e entre muitas outras relações específicas (NASCIMENTO, 2022).

2.4. Ecologia química de insetos e semioquímicos voláteis

Os insetos possuem uma comunicação química característica, que foi desenvolvida durante a sua evolução, que se dá através da emissão de substâncias químicas desenvolvidas por meio desta comunicação, as quais são elaboradas por um inseto, e posteriormente ocorre a detecção por outro inseto, por meio de receptores moleculares ou sensores. Portanto, devido à escassez de informações a respeito das relações entre os seres vivos e o seu comportamento, surgiu a ecologia química, que abrange diversas áreas de pesquisa como a agronomia, química, biologia e demais campos de pesquisa (POELMAN; KOS, 2016).

A ecologia química é a parte da ciência que busca compreender as linguagens químicas, mecanismos e pistas que controlam as interações que ocorrem entre os seres vivos, e dessa maneira vem contribuindo com a agricultura disponibilizando opções para a defesa fitossanitária (PONZIO *et al.*, 2016).

A ecologia química está presente nas interações entre insetos sociais como abelhas, formigas, vespas e entre outros, no qual as substâncias voláteis são capazes de exercer função na manutenção da organização social e comunicação. Além disso, explora pesquisas sobre substâncias químicas defensivas, investigando como certos insetos predadores podem se tornar agentes promissores no controle de diversas espécies (REISENMAN *et al.*, 2016).

Já os semioquímicos são substâncias químicas que fazem parte das interações entre inseto-inseto ou planta-inseto, ocorrendo por meio da transmissão de mensagens químicas que os insetos utilizam para realizar alterações na fisiologia ou no comportamento entre membros da mesma espécie, ou entre organismos de espécies diferentes, os quais auxiliam na busca por alimento, atração de companheiros para o acasalamento ou repelir patógenos (MAGALHÃES *et al.*, 2020).

A atuação dos semioquímicos podem acontecer de duas maneiras, levando em consideração se atuam entre indivíduos da mesma espécie (intraespecífico) os quais fazem parte os feromônios, ou de modo (interespecífico) onde ocorre a comunicação de indivíduos de espécies distintas, os quais apresentam como mediadores os aleloquímicos (KOMALA *et al.*, 2021).

O comportamento de insetos praga são afetados pelos semioquímicos, por meio das interações planta x inseto ou inseto x inseto. Os voláteis emitidos pela planta hospedeira proporciona alguns recursos fundamentais para o inseto como os locais de postura de ovos, de acasalamento, de alimentação e refúgio, sendo estratégias ecologicamente valiosas para a

realização do monitoramento e posterior controle das pragas (PELZ-STELINSK; KILLINY, 2016).

Uma grande quantidade de semioquímicos voláteis são produzidos pelas plantas, os quais estão ligadas as atribuições de cunho ecológico e a fatores fisiológicos, fornecendo pistas seguras que permite que os predadores encontrem os herbívoros que estão provocando ataques nas plantas, visto que são capazes de diferenciar os sinais emitidos a partir de seus hospedeiros ou presas, no qual as plantas que sofrem o ataque de insetos herbívoros emitem voláteis como uma forma de solicitar assistência aos insetos para atacar os herbívoros e avisar as plantas vizinhas acerca do ataque. Os insetos predadores identificam tais voláteis, e conseqüentemente deslocam-se em direção as plantas para encontrar o inseto praga sinalizado (GEORGE *et al.*, 2016). A utilização de semioquímicos podem contribuir para modificar o comportamento de insetos que atuam como inimigos naturais, gerando novas possibilidades de uso de semioquímicos, como uma forma de melhorar a eficiência em sistemas de cultura (KAISER *et al.*, 2017).

Por meio do olfato os insetos identificam os semioquímicos voláteis, já para a percepção dos semioquímicos não voláteis ocorre por meio da quimiorrecepção. A liberação de compostos voláteis ocorre em pequenas quantidades quando a planta não sofre ataca de insetos herbívoros, porém, podem ocorrer mudanças drásticas caso aconteçam danos na planta provocados pela alimentação ou deposição de ovos por herbívoros (MURPHY *et al.*, 2016).

As plantas danificadas emitem combinações de novos voláteis, sendo os voláteis induzidos pela oviposição de insetos são chamados voláteis de plantas induzidos por oviposição. As misturas de voláteis induzidos por herbívoros como uma resposta à herbivoria são essencialmente de compostos aromáticos e terpenos, no qual os terpenoides são componentes essenciais da classe de voláteis de plantas (LACKUS *et al.*, 2018).

Os voláteis de plantas mediam as interações tritróficas, e são amplamente estudadas em pesquisas de campo e em laboratório, porém não se sabe com clareza com tais interações progridem em agroecossistemas (ERB, 2018).

2.5. Interações tritróficas e o manejo integrado de pragas (MIP)

Na natureza os organismos estão interligados por meio de redes tróficas e cadeias alimentares, sendo que as plantas fazem parte do primeiro nível trófico, os herbívoros estão no segundo nível trófico e predadores, patógenos e parasitoides estão no terceiro nível trófico, sendo denominada de interação tritrófica (TURLINGS; ERB, 2018).

A associação entre plantas, herbívoros e predadores é capaz de resultar em relações mutualísticas em decorrência das interações tritróficas entre insetos e plantas, no qual os predadores podem consumir certos tipos de substâncias que os herbívoros excretam e como efeito benéfico ampliam a sua proteção a planta (DA SILVA *et al.*, 2012).

As interações entre plantas, herbívoros e inimigos naturais são relações mútuas e dependentes, sobretudo no que se refere a procura por alimento e geração de novos descendentes. Os fatores responsáveis pelas interações tritróficas podem ser oriundos do efeito direto da planta a respeito da biologia ou comportamento dos insetos predadores, através das características morfológicas ou substâncias químicas existentes na planta (CHEN *et al.*, 2015).

Nas medições das interações tritróficas são utilizados compostos químicos, os quais podem ser divididos em feromônios e aleloquímicos, sendo este último de maior importância nas interações tritróficas entre plantas, herbívoros e predadores. Os aleloquímicos estão divididos em três classes: sinomônios, que beneficia tanto o emissor e o receptor; cairomônios, que proporciona ao organismo receptor uma vantagem adaptativa e; alomônios, que atribui ao organismo produtor uma vantagem adaptativa (NARANJO-GUEVARA *et al.*, 2017).

Os aleloquímicos podem se originar tanto de plantas, como insetos, alimentos ou outras fontes, e são semioquímicos de interação interespecífica, no qual a comunicação ocorre entre indivíduos de espécie diferentes, já os feromônios atuam na comunicação intra-específica, ou seja, dentro da própria espécie, apresentando como os mais importantes os de trilha, agregação e sexuais (SINGH; SOOD, 2017).

Na agricultura entender as interações tritróficas entre as culturas, os herbívoros e seus agentes de controle, são fundamentais para manter a produção agrícola em níveis altos de qualidade e quantidade, sendo uma maneira de manter as densidades populacionais de herbívoros abaixo do nível de dano econômico (RODRIGUES-SILVA *et al.*, 2017).

O conhecimento da função de cada organismo nas interações tritróficas tem contribuído para melhoria dos programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP), como uma das maneiras de impedir que os insetos pragam alcancem altos níveis de densidade populacional. O equilíbrio natural das populações vinculadas aos sistemas que contribuem para o controle de pragas, propõe uma compreensão profunda acerca das interações tritróficas para implantação do sistema (JAYASOORIYA; AHEEYAR, 2016).

Com as imposições do mercado consumidor para uma produção agrícola limpa, os produtores rurais são incentivados a procurar um novo sistema, e com isso, ocorre uma maior aplicação do MIP, que visa realizar o monitoramento de pragas acerca de sua flutuação

populacional e injúrias causadas nos cultivos, como uma forma de prevenir impactos ambientais futuros (REZAEI *et al.*, 2019).

2.6. Mecanismo de resistência de plantas

As plantas apresentam resistência ao ataque de insetos herbívoros em razão de suas características hereditárias alcançadas ao longo de sua evolução, como a sua formação genotípica, interferindo na intensidade das injúrias ocasionadas pelo inseto-praga, em que determinadas plantas conseguem manter a sua produção, quando comparada com outras plantas, mesmo quando submetidas as mesmas condições ambientais (BALDIN *et al.*, 2019).

A seleção natural privilegiou algumas plantas com elevado grau de resistência, sendo observado principalmente em espécies que não passaram por processo de melhoramento genético, as quais preservaram as suas características morfológicas, fenotípicas, químicas e físicas que lhe tornaram menos suscetíveis aos danos e injúrias provocados pelos herbívoros (STOUT, 2014).

A biologia ou o comportamento do inseto é alterado, em grande parte dos casos, por efeito da resistência da planta, contudo em algumas vezes acontece apenas uma reação da própria planta sem nenhum efeito direto ao inseto. As plantas apresentam alguns mecanismos de resistência das plantas como antibioses, tolerância e antixenose, em que uma planta pode apresentar os três de uma única vez, sendo habitual ocorrerem em conjunto (PETERSON *et al.*, 2017).

A antibiose tem sua ocorrência quando a planta provoca um efeito desfavorável ao inseto praga influenciando de maneira negativa no ciclo biológico do inseto (lentidão no desenvolvimento do inseto, diminuição de peso/tamanho e redução da fecundidade) devido as estruturas ou características químicas que a planta dispõe (SOUZA *et al.*, 2014).

Verifica-se que enzimas e substâncias químicas são responsáveis pelo mecanismo de resistência das plantas classificado como antibiose, no qual plantas atacadas por insetos-praga são encarregadas na maioria das vezes pela produção de metabólitos secundários, um que vez a infecção por fitopatógenos quanto a herbivoria são ações que podem desencadear o mecanismo de defesa do vegetal (XU *et al.*, 2019).

A antixenose normalmente está relacionada as folhas, tricomas, alterações de cor impedindo que a planta sirva de alimento para o inseto-praga, reduto ou oviposição, sendo o resultado da planta emitir COVs ou por causa de suas características físicas, ocasionado

mudanças no comportamento dos insetos em relação a planta, causando menos injúrias quando associadas com outras plantas em face de condições iguais (QUEIROZ, 2020).

A recuperação ou resistência de uma planta ao ataque de um inseto praga pode ocorrer por meio de atributos genéticos complexos denominado de tolerância, quando uma planta é submetida ao mesmo nível de infestação de um inseto herbívoro, acaba sofrendo poucas injúrias quando comparadas com outras cultivares, não influenciando na biologia ou comportamento do inseto. Permitindo que a planta emita novos perfilhos, ramos e outras partes vegetativas logo depois de sofrer o ataque de uma praga, não afetando de modo significativo a produção (PETERSON *et al.*, 2017).

Já para a cultura da palma forrageira, a resistência está relacionada com a variedade e não especificamente com determinado tratamento aplicado a planta, sendo observado na variedade miúda resistência à cochonilha-do-carmim, contudo, sendo suscetível a cochonilha de escama, junto com a variedade sertânia, que mesmo com baixas infestações da *D. echinocacti* ocorre que a planta acaba morrendo (LOPES *et al.*, 2010).

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE JUNIOR, P. S.; SILVA, C. A. D.; RAMOS, R. S.; ZANUNCIO, J. C.; CASTELLANI, M. A. *Diaspis echinocacti* (Hemiptera: Diaspididae) on cactus pear cladodes: biological aspects at different temperatures. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. 1-7, 2023.
- ALMEIDA, R. F. Palma forrageira na alimentação de ovinos e caprinos no semiárido brasileiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 4, p. 08- 14, 2012.
- ALMEIDA, L. M.; SANTOS, P. B.; CASTRO-GUEDES, C. F. **Coccinellidae in Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil - PNUD**. 2017.
- BALDIN, E. L. L.; VENDRAMIN, J. D.; LOURENÇÃO, A. L. **Resistência de plantas a insetos: fundamentos e aplicações**. Piracicaba: FEALQ. 493 p. 2019.
- BEZERRA, B. G.; ARAÚJO, J. S.; PEREIRA, D. D.; LAURENTINO, G. Q.; SILVA, L. L. Zoneamento agroclimático da palma forrageira (*Opuntia* sp.) para o estado da paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n. 7, p.755-761, 2020.
- CASTRO, R. M. **Biologia e exigências térmicas de *Zagreus bimaculosus* (Mulsant) (Coleoptera: Coccinellidae)**. 2011. 68f. Dissertação (Mestrado em Entomologia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2011.
- CARVALHO, M. B.; ARRUDA, G. P. de.; ARRUDA, E. C. A cochonilha da palma forrageira *Diaspis echinocacti* (Homoptera, Diaspididae) e seus inimigos naturais em Pernambuco e Alagoas. **Série Agrônômica**, v. 2, n. 1, p. 125-130, 1978.
- COELHO JUNIOR, L. M.; MEDEIROS, M. G.; NUNES, A. M. M.; MACIEIRA, M. L. L.; FONSECA, M. B. Avaliação do uso do solo e dos recursos florestais no semiárido do estado da Paraíba. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 1, p. 72-88, 2020.
- CORRÊA, G. H. **Estudo de seis gêneros Neotropicais de Chilocorini e revisão de *Harpasus Mulsant, 1850* (Coleoptera, Coccinellidae, Chilocorinae)**. 2008. 128f. Dissertação de mestrado (Pós-Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- CHAGAS, M. C. M. Cochonilha de escama *Diaspis echinocacti* (Bouché, 1833) (Hemiptera, Diaspididae) em palma forrageira: **Aspectos bioecológicos e estratégias de manejo**. EMPARN. Parnamirim, Rio Grande do Norte, Brasil. 2017.
- CHEN, Y. H.; GOLS, R.; BENREY, B. Crop domestication and its impact on naturally selected trophic interactions. **Annual Reviews Entomol**, n. 60, p. 35–58, 2015.
- DA SILVA, A. G.; DE SOUZA, B. H. S.; RODRIGUES, N. E. L.; BOTTEGA, D. B.; JUNIOR, A. L. B. Interação tritrófica: aspectos gerais e suas implicações no manejo integrado de pragas. **Nucleus**, v. 9, n. 1, p. 35-47, 2012.

DANTAS, P. C.; ARAÚJO, R. G. V.; ABREU, L. A.; JÚNIOR, J. V. A.; BATISTA, A. S. Toxicidade de extratos vegetais em *Coccidophilus citricola* (Brèthes, 1905) (Coleoptera: Coccinellidae). **CONTECC**, 2018.

DUBEUX, C. B.; SANTOS, M. V. F.; SOUZA, R.T.A.; SIEBERT, A. Cactus: the new green revolution in drylands. **Acta Horticulturae**, v. 1343, n. 1343, p. 233-240, 2022.

DUDAREVA, N.; NEGRE, F.; NAGEGOWDA, D. A. Plant volatiles: recent advances and future perspectives. **Critical Reviews in Plant Science**, v. 25, n. 5, p. 417-440, 2006.

ERB, M. Volatiles as inducers and suppressors of plant defense and immunity-origins, specificity, perception and signaling. **Plant Biology**, v. 44, p. 117–121, 2018.

FIGUEREDO, W. R. S. **Resistência de palma forrageira: in vitro e ex vitro á cochonilha de escama *Diaspis echinocati* (Hemiptera: Diaspididae) (Bouché, 1833)**. 2018. Tese (Doutorado) Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2018.

FONTES, E. M. G.; VALADARES-INGLIS, M. C. **Controle biológico de pragas da agricultura**. Brasília: Embrapa, 2020. 510 p., il. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/212490/1/CBdocument.pdf>. Acesso em: 19 set. 2023.

GEORGE, J.; ROBBINS, P. S.; ALESSANDRO, R. T.; STELINSKI, L. L.; LAPOINTE, S. L. Formic and acetic acids in degradation products of plant volatiles elicit olfactory and behavioral responses from an insect vector. **Chemical Senses**, v. 41, n. 4, p. 325–338, 2016.

HARE, J. D.; SUN, J. J. Production of Induced Volatiles by *Datura wrightii* in Response to Damage by Insects: Effect of Herbivore Species and Time. **Journal Chemical Ecology**, v. 37, n. 7, p. 751-764, 2011.

IMANE, M.; HADDAD, N.; MOGHADDAM, M.; ZIRI, R.; BRHADDA, N.; SMAILI, M. C. Current status of the cactus scale *Diaspis echinocacti* Bouché (Hemiptera: Diaspididae) on *Opuntia ficus-indica* and its first morphological and microscopic description in Morocco. **EPP0 Bulletin**, v. 52, p. 718-724, 2022.

JAYASOORIYA, H. J. C.; AHEEYAR, M. M. M. Adoption and factors affecting on adoption of integrated pest management among vegetable farmers in Sri Lanka. **Procedia Food Science**, v. 6, p. 208–212. 2016.

KAISER, L.; ODE, P.; NOUHUYS, S. V.; CALATAYUD, P. A.; COLAZZA, S.; CORTESERO, A. M.; THIEL, A.; BAAREN, J. V. The plant as a habitat for entomophagous insects. **Advances in Botanical Research**, v. 81, p. 179–223, 2017.

KOMALA, G.; MANDA, R. R.; SERAM, D. Role of semiochemicals in integrated pest management. **International Journal of Entomology Research**, v. 6, p. 247-253, 2021.

LACERDA, C. A.; COITINHO, R. L. B. C.; SANTOS, V. F. The potential of alternative products in the control of scale cochineal in cactus pear. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 28, n. 1, p. 1-7, 2023.

LACKUS, N. D.; LACKNER, S.; GERSHENZON, J.; UNSICKER, S. B.; KOLLNER, T. G. The occurrence and formation of monoterpenes in herbivore-damaged poplar roots. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 327 – 345, 2018.

LIMA, P. F. U. **Sistema de cultivo adensado de Palma Forrageira sob Adubação Organo - Mineral**. 2011. 58f. Dissertação (Zootecnia) – Universidade Federal de Campina Grande, Patos 2011.

LIMA, M. S.; MELO, J. W. S.; BARROS, R. Biology of *Zagreus bimaculosus* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) a predator of *Ferrisia dasyliirii* (Cockerell) (Hemiptera: Pseudococcidae). **The Coleopterists Bulletin**, v. 70, n. 2, p. 314–320, 2016.

LIRA R.; NASCIMENTO, D. V.; TORRES, J. B.; SIQUEIRA, H. A. A. Predation on diamondback moth larvae and aphid by resistant and susceptible lady beetle, *Eriopis connexa* (Germar). **Neotrop. Entomol**, v. 48, n. 6, p. 909-918, 2019.

LOPES, E. B.; BRITO, C. H.; ALBUQUERQUE, I. C.; BATISTA, J.L. Seleção de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* spp.) e (*Nopalea* spp.) resistentes à cochonilha-do carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell, 1929) na Paraíba, Brasil. **Engenharia Ambiental**, v. 7, n.1, p. 204-215, 2010.

MACÊDO, A. J. S.; CESAR NETO, J. M.; OLIVEIRA, L. B.; EDVAN, R. L.; EDSON MAURO SANTOS, E. M. A cultura da palma, origem, introdução, expansão, utilidades e perspectivas futuras. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 62967-62987, 2020.

MAGALHÃES, D. M.; MICHEREFF, M. F. F.; HASSEMER, M. J.; BLASSIOLI-MORAES, M. C.; BORGES, M. Semioquímicos no controle de pragas. In: Fontes EMG & Valadares-Inglis MC. (Ed.). **Controle biológico de pragas da agricultura**. Brasília: Embrapa, p. 415-450. 2020.

MARQUES, O. F. C.; GOMES, L. S. P.; MOURTHÉ, M. H. F.; BRAZ, T. H. S.; PIRES NETO, O. S. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Cadernos de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 75-93, 2017.

MEDEIROS, R. M.; MATOS, R. M.; SILVA, P. F.; SILVA, J. A. Caracterização climática e diagnóstico da aptidão Agroclimática de culturas para Barbalha-CE. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 461-476, 2015.

MURPHY, K. A.; TABULOC, C. A.; CERVANTES, K. R.; CHIU, J. C. Ingestion of genetically modified yeast symbiont reduces fitness of an insect pest via RNA interference. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 1-13, 2016.

NARANJO-GUEVARA N.; PEÑAFLORES, M. F. G. V.; CABEZAS-GUERRERO. M. F.; BENTO, J. M. S. Nocturnal herbivore-induced plant volatiles attract the generalist predatory earwig *Doru luteipes* Scudder. **The Science of Nature**, v. 104, n. 9, p. 1-11, 2017.

NASCIMENTO, R. R.; EDVAN, R.L.; AMORIM, D.S.; ARAÚJO, J.S.; DA SILVA, A.L.; SOUSA, S.V.; NASCIMENTO, K. DOS S.; BARROS, L. DE S.; TOMAZ, J.L.S. Seedling cultivation methods of three varieties of forage cactus. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p.32689-32697, 2020.

- NASCIMENTO, A. F. O. **Uso de nanotecnologia e controle biológico conservativo para o manejo de *Leucoptera coffeella***. 2022. 40 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2022.
- OLIVEIRA, J. P. F.; FERREIRA, M. A.; ALVES, A. M. S. V.; MELO, A. C. C.; ANDRADE, I. B.; URBANO, S. A.; SUASSUNA, J. M. A.; BARROS, L. J. A.; MELO, T. T. B. Carcass characteristics of lambs fed spineless cactus as a replacement for sugarcane. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 31, n. 4, p. 529 -536, 2018.
- PELZ-STELINSKI, K. S.; KILLINY, N. Better together: association with ‘Candidatus Liberibacter Asiaticus’ increases the reproductive fitness of its insect vector, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). **Ann. of the Entomol. Soc. of Am.**, v. 109, n. 3, p. 371–376, 2016.
- PETERSON, R. K. D.; VARELLA, A. C.; HIGLEY, L. G. Tolerance: The forgotten child of plant resistance. **PeerJ**, n. 5, p. 1–16, 2017.
- POELMAN, E. H.; KOS, M. Complexity of plant volatile-mediated interactions beyond the third trophic level. **Signaling and Communication in Plants**, p. 211–225, 2016.
- PONZIO, C.; CASCONI, P.; CUSUMANO, A.; WELDEGERGIS, B. T.; FATOUROS, N. E.; GUERRIERI, E.; DICKE, M.; GOLS, R. Volatile-mediated foraging behaviour of three parasitoid species under conditions of dual insect herbivore attack. **Anim. Behav.**, v. 111, n. 15, p. 197–206, 2016.
- QUEIROZ, E. B.; SILVA, F. C.; BORELLA JUNIOR, C.; ARAÚJO, M. S.; HIROSE, E.; JESUS, F. G. Antixenosis in soybean to *Spodoptera cosmioides* (Lepidoptera: Noctuidae) mediated by leaf color and trichome density. **Phytoparasitica**, V. 48, p. 813-821. 2020.
- RAMDANI, C.; EL FAKHOURI, K.; SBAGHI, M.; BOUHARROUD, R.; BOULAMTAT, R.; AASFAR, A.; MESFIOUI, A.; EL BOUHSSINI, M. Chemical Composition and Insecticidal Potential of Six Essential Oils from Morocco against *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) under Field and Laboratory Conditions. **Insects**, v. 12, n. 11, p. 1-15, 2021.
- REISENMAN, C. E.; LEI, H.; GUERENSTEIN, P. G. Neuroethology of olfactory-guided behaviour and its potential application in the control of harmful insects. **Front. Physiol.**, v. 7, n. 271, p. 1 - 21, 2016.
- REZAEI, R. L.; SAFA, L.; DAMALAS, C. A.; GANJKHANLOO, M. M. Drivers of farmers’ intention to use integrated pest management: integrating theory of planned behavior and norm activation model. **Journal of Environmental Management**, v. 236, p. 328–339, 2019.
- RODRIGUES-SILVA, N.; CAMPOS, S. O.; FREITAS, E. S.; SOUZA, T. C.; MARTINS, J. C.; PICANÇO, M. C. Relative importance of natural enemies and abiotic factors as sources of regulation of mealybugs (Hemiptera: Pseudococcidae) in Brazilian coffee plantations. **Applied Biology**, v. 171, n. 3, p. 303–315, 2017.
- SALDANHA, D. D.; MORAES, J. G. L.; SILVA, E. M.; SOUSA, G. G.; MORAES, A. E. Cultivo de Palma Forrageira (*Opuntia stricta* Haw) sob Biofertilização nas Condições Climáticas Observadas na Região Jaguaribana (Região Semiárida do Estado do Ceará). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 38, n. 8, p. 327-345, 2023.

SALVADOR, K. R. S.; JARDIM, A. M. R. F.; JÚNIOR, G. N. A.; ALVES, C. P.; PINHEIRO, A.; PEREIRA, R. C. G.; SOUZA, L. S. B.; SILVA, T. G. F. Intensificação de sistemas de produção de palma forrageira por meio de consorciação rotativa com gramíneas, leguminosas e oleaginosas: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 4, p. 2369-2390, 2021.

SANTANA, J. C. S.; MORAIS, J. A. S.; SANTOS, M. S. A. A.; GURGEL, A. L. C.; MUNIZ, E. N.; OLIVEIRA, V. S. Características fermentativas, composição química e fracionamento da proteína da silagem de gliricídia submetida a diferentes períodos de fermentação. **Boletim de Indústria Animal**, v. 76, p. 1-9, 2019.

SANTOS, D. C. dos; FARIAS, I.; LIRA, M. de A.; SANTOS, M. V. F. dos; ARRUDA, G. P. de; COELHO, R. S. B.; DIAS, F. M.; MELO, J. N. de. **Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*) em Pernambuco**. Recife: IPA, 2006. 48 p. (IPA. Documentos, 30).

SILVA, H. W.; FAVARIN, S.; ANDRIGUETTI, S. C.; DOMICIANO, D.; GODINHO, A. M. M.; ARAÚJO, E. B.; SOUZA, H. O.; XAVIER, W. A. Vegetative development, biomass production and Chemical – bromatologic al composition of gliricídia in temperate climate conditions. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 847 – 859, 2020.

SILVA, L. M.; FAGUNDES, J. L.; VIEGAS, P. A. A.; MUNIZ, E. N.; RANGEL, J. H. A.; MOREIRA, A. L.; BACKES, A. A. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio, **Ciência Rural**, v. 44, n.11, p. 2064-2071, 2014.

SILVA, R. A.; GUERREIRO, J. C.; MICHELOTTO, M. D.; BUSOLI, A. C. Desenvolvimento e comportamento de predação de *Coccidophilus citricola* Brèthes, 1905 (Coleoptera: Coccinellidae) sobre *Aspidiotus nerii* Bouché, 1833 (Hemiptera: Diaspididae). **Boletín de Sanidad Vegetal Plagas**, v. 29, n. 1, p. 9-15, 2003.

SILVA, R. R.; SAMPAIO, E. V. B. *Opuntia ficus-indica* and *Nopalea cochenillifera cacti*: production systems and uses. **Revista Geama**, v.1, n. 2, p. 151-161, 2015.

SINGH, V.; SOOD, A. K. Plant Nutrition: A tool for the management of hemipteran insect-pests- A review. **Agric. Rev**, v. 38, n. 4, p. 260-270. 2017.

SOUZA, B. H. S.; SILVA, A. G.; JANINI, J. C.; A JÚNIOR, A. L. Antibiosios in soybean genotypes and the resistance levels to *Spodoptera eridania* (Cramer) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 43, n. 6, p. 582- 587, 2014.

STOUT, M. J. Host-Plant Resistance in Pest Management. **Integrated Pest Management**, p. 1 – 21, 2014.

TURLINGS. T. C.; M. ERB, Tritrophic interactions mediated by herbivore-induced plant volatiles: mechanisms, ecological relevance, and application potential. **Annual Review of Entomology**, v. 63, n. 1, p. 433–452, 2018.

XU, D.; WANG, K.; ZHANG, Y.; WANG, H.; WU, Q.; WANG, S. The performance of *Tetranychus urticae* on five melon cultivars is correlated with leaf thickness. **Systematic and Applied Acarology**, v. 24, n. 4, p. 645 – 657, 2019.

CAPÍTULO I

1. Caracterização de voláteis emitidos de variedades de palma forrageira resistentes e suscetíveis à cochonilha de escama *Diaspis echinocacti* (Bouché, 1833) (Hemiptera: Diaspididae)

RESUMO

A cultura da palma forrageira refere-se a uma forragem que apresenta dois gêneros *Opuntia* e *Nopalea* difundidos em regiões semiáridas que dispõem de chuvas irregulares e escassas, solos com baixa matéria orgânica e altas temperaturas, em razão de sua característica fotossintética em reduzir no decorrer do período diurno o processo de transpiração. Apesar de sofrer com o ataque de insetos-praga, entre elas a cochonilha de escama *Diaspis echinocacti*, qual ocasiona sérias injúrias na planta, podendo levar a erradicação da área de cultivo. O controle dessa praga é realizado com o uso de inseticidas sintéticos, porém, com a resistência dos insetos herbívoros a esses produtos, fez-se necessário que os agricultores buscassem alternativas dentro do manejo integrado de pragas (MIP), com a utilização das táticas de controle biológico para o recrutamento de inimigos naturais que apresentam como uma de suas características controlar a infestação de pragas através da predação, minimizando a utilização de produtos químicos. Com isso, o objetivo foi identificar os COVs emitidos de cinco variedades de palma forrageira suscetíveis e resistentes ao ataque de *D. echinocacti* diante do recrutamento do *Coccidophilus citricola* e *Zagreus bimaculosus*. O processo de captação dos compostos orgânicos voláteis foi realizado por meio do sistema headspace dinâmico, com adsorvente Porapak Q (50/80 mesh; Supelco). Os extratos da planta sadia e infestada foram analisados através de Cromatografia Gasosa acoplada ao Detector de Ionização em chama e a identificação dos compostos por meio da Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas. Realização de testes de bioensaios para verificar o recrutamento dos extratos e análise multivariada dos dados cromatográficos dos COVs. Foram identificados seis classes de compostos nas variedades sadias e infestadas, sendo os hidrocarbonetos, álcoois, carboxílicos, ésteres, aldeídos e cetonas, com e emissão de novos COVs após a infestação. Os extratos das variedades infestadas de sertânia e redonda recrutaram o predador *C. citricola*, à medida que o *Z. bimaculosus* foi recrutado pela miúda e F8. Nos componentes principais constatou-se que os COVs identificados apresentaram-se distintos entre os tratamentos, indicando onze compostos significativos em altas concentrações nas análises discriminantes, com a presença dos 9-tridecen – acetato, tetradecano e nonanal na planta infestada que atuam recrutando inimigos naturais.

Palavras-chave: Semiárido, Inseto-praga, Cactácea, Ecologia química

4.1. INTRODUÇÃO

A cultura da palma forrageira tem como centro de origem o México, fazendo-se presente na maior parte dos continentes, predominando principalmente o cultivo dos gêneros (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) que se caracteriza como uma opção de forragem capaz de compor a dieta dos animais especialmente em períodos de longa estiagem hídrica (FONSÊNCIA *et al.*, 2023).

No Brasil os gêneros de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) são os mais difundidos no território nacional com cerca de 147.439 ha cultivados, com predominância na atividade de elaboração de forragem em razão de sua adaptação em regiões áridas e semiáridas (LIMA *et al.*, 2015). A particularidade que torna estes gêneros com grande capacidade adaptativa em áreas que apresentam baixo índice pluviométrico anual, se diz respeito sobretudo ao seu metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), no qual ocorre a abertura dos estômatos para a captação de CO₂ durante o período noturno (SILVA *et al.*, 2021).

A palma forrageira é empregada em diversas atividades, sobretudo, em regiões que apresentam condições edafoclimáticas como é o caso do Semiárido brasileiro, atuando como principal volumoso na alimentação de rebanhos devido apresentar alta produtividade de matéria verde para as variedades do gênero *Nopalea* que chegam a aproximadamente 500 t/ha, enquanto as pertencentes do gênero *Opuntia* alcançam média de 400 t/ha (BRITO *et al.*, 2020).

A área do Semiárido brasileiro abrange os nove Estados da região nordeste, chegando a compreender uma porção do Estado de Minas Gerais, apresentando em comum baixos índices pluviométricos durante o ano, que acarreta o evento conhecido como “seca”, sendo um fator que restringe a atividade pecuária nessa localidade, em razão da dificuldade na produção de forragem. Consequentemente, o cultivo de plantas forrageiras que sejam adaptadas as condições de elevadas temperaturas e períodos de estiagem hídrica, são as mais adequadas a essa região, como é o caso da palma forrageira (SILVA *et al.*, 2020).

Não obstante, a palma forrageira é acometida por vários insetos-praga e doenças, que provocam diminuição da produção, com destaque para o inseto *Diaspis echinocacti* conhecido comumente como cochonilha de escama, responsável por destruir inúmeros hectares da cultura na região do Semiárido brasileiro.

Sendo assim, necessário fazer uso de variedades resistentes que apresentem estratégias quando sofrem o ataque do herbívoro as chamadas defesas químicas, que atuam na tolerância ou resistência do vegetal, sendo a resistência de dois tipos: direta ou indireta (TLAK GAJGER; DAR, 2021). As defesas diretas agem a favor da planta que sofre o ataque da herbivoria, resultado em uma ação que prejudica o ciclo de vida e hábito do herbívoro, em contrapartida,

as defesas indiretas são capazes de atrair insetos que atuam como agentes de controle, em que tem em sua dieta alimentar insetos herbívoros em diferentes estágios de desenvolvimento (ALI *et al.*, 2021).

As plantas começam a liberar COVs para a atração de predadores para o herbívoro, quando são acometidas pelo ataque do inseto-praga, caracterizando em uma ferramenta de defesa natural encontrando tanto em plantas de cultivo comercial como também em selvagens (ALI *et al.*, 2022).

Por este ponto de vista, o objetivo do trabalho é identificar os COVs emitidos de cinco variedades de palma forrageira suscetíveis e resistentes as injúrias provocadas pela cochonilha de escama *D. echinocacti* e as suas respostas frente ao recrutamento de inimigos naturais.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Pesquisa em Recursos Naturais (LPqRN) pertencente ao Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), no município de Maceió, Estado de Alagoas.

4.2.1. Obtenção das variedades de palma forrageira e plantio das raquetes

Foram utilizadas cinco variedades de palma forrageira, sendo três resistentes, *Opuntia* spp., e duas suscetíveis, *Nopalea* spp., a *D. echinocacti* (Tabela 1). Os cladódios de palma foram obtidas do Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), que está situado no município de Arcoverde-PE na microrregião do sertão do Moxotó, o qual apresenta uma precipitação média anual de 1.100,0 mm (INMET, 2023).

Tabela 1 - Variedades de palma forrageira dos gêneros *Opuntia* (resistentes) e *Nopalea* (suscetíveis) à *Diaspis echinocacti*

Gênero	Espécie	Acesso	Nome comum
<i>Opuntia</i>	<i>Opuntia undulata</i>	IPA – 2000174	Orelha de Elefante Africana
<i>Opuntia</i>	<i>Opuntia atropes</i> Rose	IPA – 200008	F-8
<i>Opuntia</i>	<i>Opuntia ficus-indica</i>	IPA- 10002	Redonda ou Orelha de Onça
<i>Nopalea</i>	<i>Nopalea cochenillifera</i>	IPA – 200205	Sertânia ou Mão de Moça
<i>Nopalea</i>	<i>Nopalea cochenillifera</i>	IPA - 100004	Miúda ou Doce

Fonte: O autor (2022).

Os cladódios de palma forrageira foram coletadas em 14 de junho de 2022, deixando em repouso por um período de 15 dias para que ocorresse o processo de cicatrização para, em seguida, serem plantadas em canteiros de alvenaria, com dimensões de 1 metro de largura e 10 metros de comprimento, com espaçamento de 50 cm entre os canteiros, sendo realizada adubação de cobertura sete dias antes do plantio dos cladódios, com proporção de NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) de 15 – 10 - 15, contendo 15% de nitrogênio (N), 10% de fósforo (P₂O₅) e 15% de potássio (K₂O), com repetições a cada seis meses. Os cladódios também foram plantados em casa de vegetação, em vasos de 35 cm de diâmetro e 40 cm de altura, preenchidos com solo coletado de uma área experimental do Campus Aristóteles Calazans Simões (A. C. Simões), na Universidade Federal de Alagoas – UFAL, e com adubação mineral na mesma formulação, porém em gramas, os quais foram efetuados seis plantios para cada variedade, totalizando 30 vasos (Figura 1).

Figura 1 - Cultivo de palma forrageira em canteiros e vasos



Fonte: O autor (2022).

4.2.2. Criação da cochonilha de escama

A cochonilha de escama foi obtida de cladódios previamente infestados adquiridos do IPA. Em seguida, a criação foi realizada em casa de vegetação do LPqRN, Campus Aristóteles Calazans Simões (Campus A. C. Simões), dentro de cinco caixas plásticas transparentes de 6 L

contendo oito cladódios de palma forrageira miúda, os quais eram renovados com material sadio a cada 45 dias devido aos graves danos ocasionadas em decorrência dos ataques da praga.

4.2.3 Infestação das variedades de palma forrageira

Os cladódios após o período de quatro meses de plantio, no qual apresentavam novas brotações em que foram removidos da planta mãe e deixados à sombra para o processo de cicatrização, e em seguida, foram submetidas a técnica “sanduíche” (Figura 2), onde um cladódio sadio foi adicionado no meio de cladódios infestados pela cochonilha de escama durante o período de 1 mês para as variedades suscetíveis. Para as demais variedades resistentes apresentaram um maior intervalo de tempo até a infestação, provavelmente estando relacionado a produção de compostos químicos pela planta que podem atuar repelindo a praga, tornando-a menos interessante.

Figura 2 - Infestação de palma forrageira a partir de cladódios já infestados por *Diaspis echinocacti* por meio da técnica “sanduíche”



Fonte: O autor (2022).

4.2.4. Coleta e criação dos inimigos naturais *Coccidophilus citricola* e *Zagreus bimaculosus* em casa de vegetação

Os insetos adultos das espécies de *Coccidophilus citricola* (Brèthes, 1905) (Coleoptera: Coccinellidae) e *Zagreus bimaculosus* (Mulsant, 1850) (Coleoptera: Coccinellidae) foram

coletados nas variedades Sertânia e F-8, respectivamente, nos canteiros de cultivo e multiplicação das variedades de palma para os experimentos. As joaninhas foram identificadas pelas características morfológicas pelo Professor Dr. Maurício Silva de Lima, da Secretaria de Estado da Educação de Alagoas – SEDUC, especialista nesse grupo de insetos.

Na casa de vegetação do Laboratório de Pesquisa e Recursos Naturais (LPQRN), foi realizada a criação desses predadores, em caixas revestidas por tela antiafídica com dimensões de 60 cm x 30 cm x 20 cm contendo cladódios infestados de palma miúda por *D. echinocacti*, sendo colocados dez casais por caixa. A cada fase do ciclo biológico das joaninhas, eram realizadas as trocas dos cladódios para manutenção da criação.

4.3. Coleta dos compostos orgânicos voláteis das cinco variedades de palma forrageira

Os cladódios de palma forrageira para a coleta dos COVs, foram oriundos dos canteiros de cultivo, os quais estavam com seis meses de cultivo e, com cladódios infestados e não infestados por *D. echinocacti*.

Para a coleta dos COVs, utilizou-se o adsorvente Porapak Q (Etilvinilbenzeno-divinilbenzeno) com o mesh 50/80 (Supelco Inc., Bellefonte, PA 16823 Estados Unidos) sendo, o processo de aeração dos cladódios realizado por meio de seis repetições para cada cultivar, sendo três aerações para plantas sadias e três para infestadas. Foram utilizados recipientes de vidros (Figura 3) com duas aberturas, uma para inserir o tudo de Porapak Q juntamente com uma mangueira para sucção do ar, e a outra abertura para encaixar uma mangueira de PTFE/Teflon (Politetrafluoretileno), que ao atravessar o carvão ativado, conduzia o ar para o interior do vidro de aeração. Por meio de um fluxômetro instalado em cada mangueira foi observado o fluxo de ar das plantas, através do emprego de 450 mL/min no fluxo de admissão do ar, e 400 mL/min no fluxo de saída de ar, durante o período de 24 horas. Com o fim das aerações, para a dessorção dos compostos foi executado passando-se 500 µL de hexano HPLC através dos traps abrangendo os voláteis, e logo após as amostras foram acondicionadas a -20 °C para em seguida realizar as análises.

Figura 3 - Processo de aeração em palma forrageira da variedade F8 sadia e infestada por *Diaspis echinocacti*



Fonte: O autor (2022).

4.4. Cromatografia gasosa acoplada ao Detector de Ionização em Chama (CG-FID)

Os extratos das cinco variedades de palma forrageira de plantas sadias e infestadas foram analisados em um cromatógrafo a gás acoplado ao detector de ionização em chama (CG-FID) modelo Shimadzu QP-2010, atuando no modo *splitless*, apresentando coluna capilar RTX-5 (30m x 0,25mm x 0,25 μ m) (RESTEK Chromatography Products), no qual uma alíquota de 1 μ L dos extratos foi injetada no equipamento. Nas análises foram adotados os seguintes critérios: o injetor estava em uma temperatura de 250 °C, para o forno a temperatura inicial de 50 °C mantendo-se por 10 minutos com um acréscimo de 7 °C a cada minuto até alcançar a temperatura final de 280 °C, permanecendo por 5 minutos. Em seguida, foram realizados os cálculos de tempo de retenção e do Índice de Kovats, que auxiliam na sugestão de prováveis compostos em uma amostra, os quais são confirmados com os padrões sintéticos para uma identificação precisa dos COVs.

4.5. Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrometria de Massas (CG-EM)

A cromatografia gasosa acoplada ao espectrômetro de massas (CG-MS), modelo Shimadzu QP-2010, montado com uma coluna capilar DB-5 (30 m x 0,25 mm D. I. x 0,25 µm de filme) com ionização por impacto de elétrons (70 eV), em que foi inserida uma alíquota de 1 µL dos extratos para serem analisados. O modo *splitless* (250 °C) foi utilizado para operar o CG-MS, com uma temperatura inicial de 50 °C durante o período de 10 minutos, até chegar a 280 °C com acréscimo de 7 °C/min, ficando por um tempo de 5 minutos nesta temperatura. A linha de transferência foi operada a 270 °C e o hélio foi usado como gás de arraste com fluxo de 1 mL/min. O tempo de retenção, padrões de fragmentação, Índice de Kovats e comparações com a biblioteca NIST do espectrômetro foram utilizados na identificação dos compostos.

Os compostos existentes nos extratos das plantas sadias e infestadas com os insetos foram identificados pelo espectro de massa na comparação visual com espectros da biblioteca (NIST), 2008 (NIST08 e NIST08s), Wiley MS (Wiley) e através de seus índices de retenção Kovats (KI). Com a obtenção dos dados, que foram verificados em sites do Pherobase e NIST Chemistry Web Book.

No cálculo do índice de retenção foi introduzida uma série homóloga de n-alcanos (Sigma-Aldrich C7-C40), em que os dados foram tabulados em uma planilha do Excel, que apresenta a seguinte fórmula:

$$KI = 100 \left[Y + (Z - Y) \times \frac{TR_A - TR_{CA}}{TR_{CP} - TR_{AD}} \right]$$

Y = carbono anterior.

Z = carbono posterior.

TR_A = Tempo de Retenção da Amostra em Análise.

TR_{CA} = Tempo de Retenção do Carbono Anterior do Alcano.

TR_{CP} = Tempo de Retenção do Carbono Posterior do Alcano

4.6. Bioensaios comportamentais

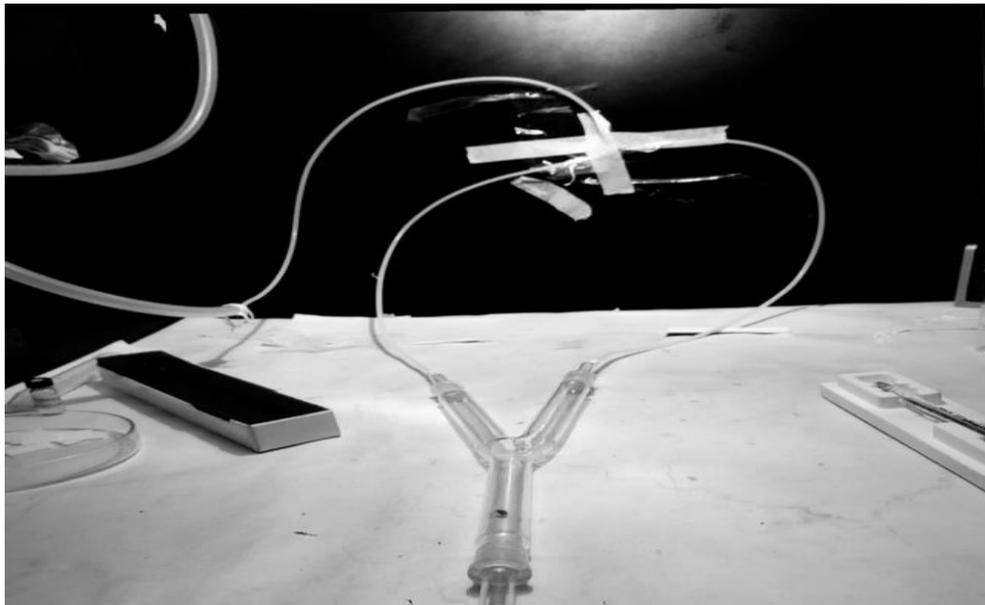
No Laboratório de Recursos Naturais do Instituto de Química e Biotecnologia – LPqRN ocorreram os experimentos com os inimigos naturais *C. citricola* e *Z. bimaculosus* fazendo uso dos extratos das cinco variedades de palma forrageira após a infestação da cochonilha de escama.

Os bioensaios comportamentais foram com os adultos (machos e fêmeas) de *C. citricola* e *Z. bimaculosus* fazendo uso do equipamento olfatômetro em formato de Y (vidro de dupla escolha) (Figura 4), apresentando dimensões de 25 cm por 2,5 cm de diâmetro. Em cada braço

do olfatômetro estava conectada uma mangueira, em que o carvão ativado foi utilizado para filtrar o fluxo de ar (250 mL/min) que entrava no aparelho, sendo avaliado por meio de um fluxômetro ligado a entrada de ar. Para os testes, primeiramente as joaninhas foram aclimatadas durante 35 minutos na sala dos bioensaios antes dos experimentos, a qual apresentava uma temperatura e umidade relativa de respectivamente (26 ± 1 °C, $70 \pm 10\%$ UR) no período de fotofase sob luz fluorescente (60W, 980 lux).

Os inimigos naturais estiveram sobre a escolha entre o tratamento dos extratos coletados das plantas infestadas ou o tratamento controle pelo hexano grau HPLC, em que ambos eram adicionados 10 μ L de cada solução em um papel de filtro de dimensões de 1cm² em cada braço do olfatômetro, durante um período de cinco minutos.

Figura 4 - Bioensaios comportamentais em olfatômetro em Y com os inimigos naturais *Coccidophilus citricola* e *Zagreus bimaculosus*



Fonte: O Autor (2023).

4.7. Análise Estatística

Nas análises dos bioensaios comportamentais em olfatômetro em Y, foi realizada a estatística em um teste de hipóteses qui-quadrado que trabalha com números distribuídos em duas variáveis categóricas nominais consideradas de maneira qualitativas, pois trata-se de um teste não paramétrico que não necessita de variância e média de parâmetros populacionais. A regra desta análise estatística se deve a comparar proporções, em que são observadas incompatibilidades existentes em um determinado episódio, sendo assim, um teste bastante utilizado por pesquisadores que trabalham com o tubo em Y analisando ensaios

comportamentais em insetos (PRESTES; CUNHA, 2012). Por meio do software GENES foram geradas as análises (CRUZ, 2013).

Para os extratos analisados em cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG-EM) e as áreas dos picos de cada cromatograma das cinco variedades de palma forrageira foram utilizados com o propósito de se certificar de possíveis dissimilaridades entre os diferentes tratamentos, através da análise multivariada de dados cromatográficos. Com isso, foi realizada a análise discriminante de mínimos quadrados parciais (PLS-DA), para avaliar quais as diferenças entre as concentrações relativas das cinco variedades de palma por meio da plataforma *MetaboAnalyst* 6.0.

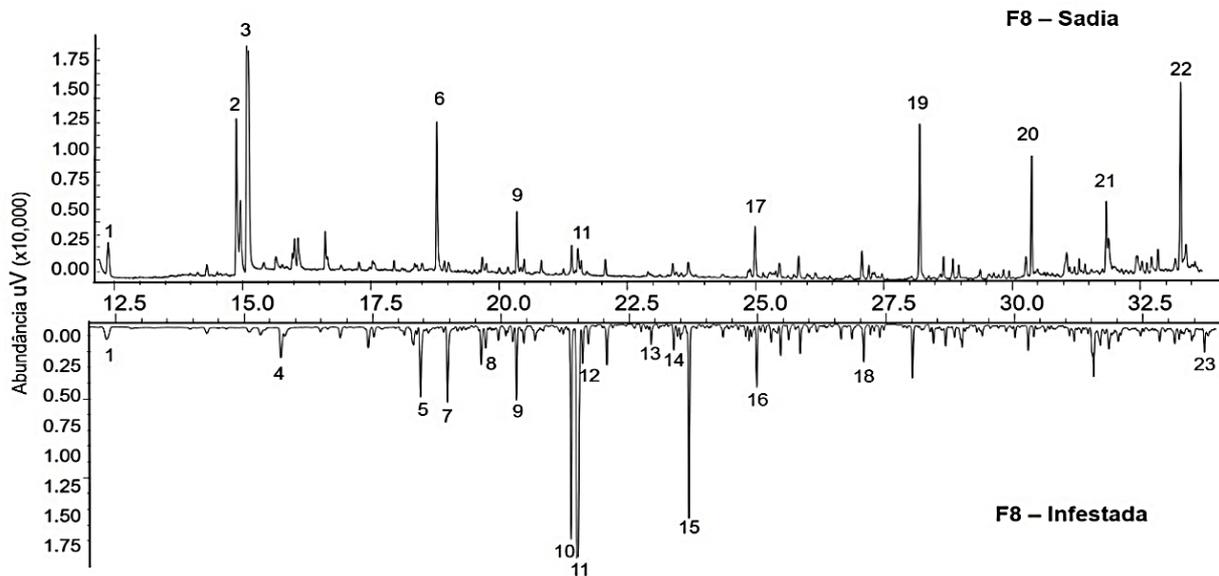
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Identificação dos compostos orgânicos voláteis de palma forrageira sadia e infestada por *Diaspis echinocacti*.

Com os extratos resultantes das aerações da variedade de palma forrageira F8, foram observados e identificados 23 compostos (Figura 5), sendo oito para a planta sadia, enquanto doze foram verificados após a infestação, com o destaque para três picos que se fizeram presentes nos dois tratamentos, que tiveram áreas iguais, os quais foram os compostos 2,4-dimetil-heptano, undecano e o nonanal, referindo-se a dois hidrocarbonetos e um aldeído, respectivamente. O composto nonanal apresentou um acréscimo de pico quando sofreu o ataque da praga, referindo-se ao composto majoritário da análise.

Segundo Pinto-Zevallos et. al. (2013), o nonanal constatado na variedade F8 infestada pelo inseto praga *D. echinocacti*, caracteriza-se como um volátil emitido quando a planta sofre com as injúrias provenientes de insetos herbívoros, atuando no recrutamento de insetos que desempenham a função de inimigos naturais em culturas agrícolas.

Figura 5 - Ionograma dos extratos da variedade de palma forrageira F8 (sadia e infestada pela cochonilha de escama)



Fonte: O autor (2023).

Entre os compostos observados nos extratos foram identificadas cinco classes distintas de COVs, sendo os hidrocarbonetos ramificados e lineares (2,4-dimetil-heptano, butano, bornylene, undecano, tetradecano, 1- dodeceno, 4,6-dimetil-dodecano, hexadecano, heptadecano, 2,6,10-trimetil-dodecano e eicosano), álcoois (3-metil – butanol e 1-decanol), carboxílico (ácido butanoico), cetonas (6-metil-5 hepten-2 ona, 2-pentanona e 1-(2-hidroxifenil)-etanona) e aldeídos (octanal, nonanal, decanal e 4,8,12-tetradecatrienal) (Tabela 2).

Os compostos pertencentes a classe dos hidrocarbonetos ramificados e lineares da análise dos voláteis emitidos pela planta, auxiliam os insetos na escolha de parceiros para reprodução, e em espécies de joaninhas como *Coccinella septempunctata* L. 1758 contribui para o recrutamento na oviposição (HEMPTINNE; DIXON, 2000).

Tabela 2 - Compostos orgânicos voláteis identificados na variedade de palma forrageira F8 sadia e infestada por *Diaspis echinocacti*

Nº	TR	IR	Composto*	Classe
1	12,388	829	2,4-Dimetil-Heptano	Hidrocarboneto
2	14,906	884	3-metil – Butanol	Álcool
3	15,111	891	2,3-butanodiol	Álcool
4	15,751	902	Nonano	Hidrocarboneto

5	18,468	987	6-Metil-5 hepten-2 ona	Cetona
6	18,785	997	Ácido Butanoico	Carboxílico
7	18,996	1004	Octanal	Aldeído
8	19,737	1034	Bornylene	Hidrocarboneto
9	20,349	1058	Undecano	Hidrocarboneto
10	21,400	1101	Tetradecano	Hidrocarboneto
11	21,535	1106	Nonanal	Aldeído
12	21,592	1109	2-Pentanona	Cetona
13	22,931	1172	1-Decanol	Álcool
14	23,365	1192	1- Dodeceno	Hidrocarboneto
15	23,662	1207	Decanal	Aldeído
16	24,825	1269	1-(2-hidroxifenil)-etanona	Cetona
17	24,987	1276	4,6-Dimetil-Dodecano	Hidrocarboneto
18	25,826	1322	Hexadecano	Hidrocarboneto
19	28,197	1461	α - acoradieno	Hidrocarboneto
20	30,379	1600	Heptadecano	Hidrocarboneto
21	31,885	1704	2,6,10-Trimetil-Dodecano	Hidrocarboneto
22	33,211	1800	Eicosano	Hidrocarboneto
23	33,698	1837	4,8,12-Tetradecatrienal	Aldeído

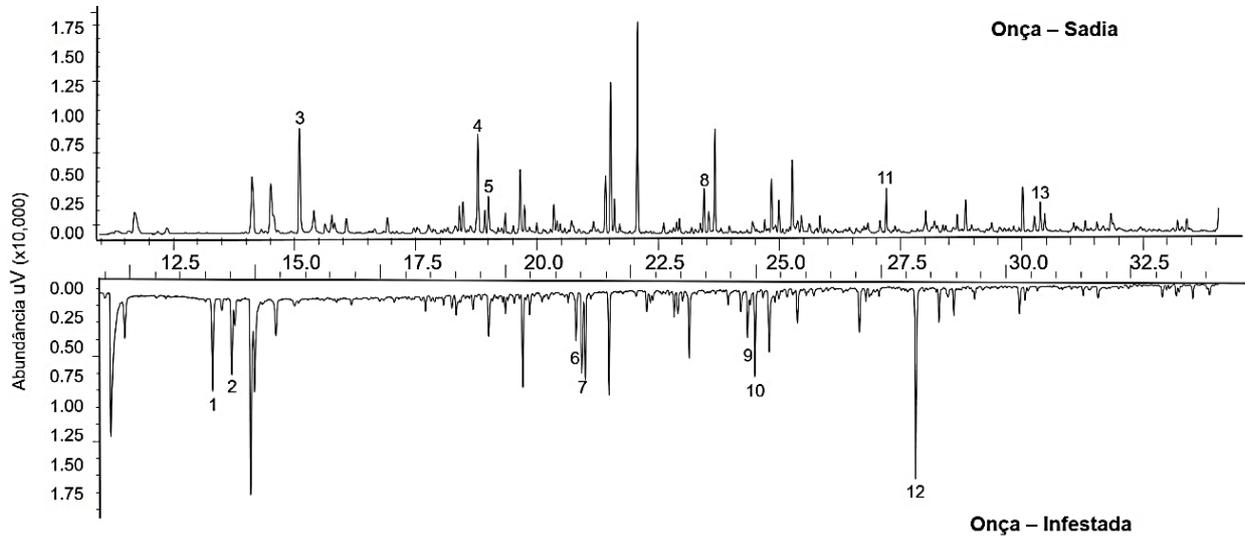
Nº= número do pico; TR= Tempo de retenção; IR= índice de retenção; *compostos com identificação proposta por meio das análises de fragmentação dos espectros de massa; Análise CG-FID com coluna NST-05; análise GC-MS com coluna ZB-5MS.

Fonte: O autor (2023).

Foram identificados 13 compostos (Figura 6) da variedade de palma forrageira Redonda ou Orelha de Onça como é conhecida popularmente, sendo seis compostos emitidos para a planta sadia e sete após a infestação.

Xiu *et al.* (2019) também observou a presença do composto 1,2-dietilbenzeno liberado da cultura do algodão *Gossypium hirsutum* quando estava sofrendo o ataque do afídeo *Sitobion avenae*, sendo responsável pela recrutamento do inseto que exerce a função de inimigo natural *Harmonia axyridis*, evidenciado que as plantas infestadas liberam voláteis que recrutam insetos predadores.

Figura 6 - Ionograma dos extratos da variedade de palma forrageira Orelha de Onça (sadia e infestada pela cochonilha de escama)



Fonte: O autor (2023)

Os compostos estão divididos em quatro classes diversas (Tabela 3), sendo elas, dos hidrocarbonetos ramificados e lineares (1,2-dietilbenzeno, 1,2-dimetil-benzeno, butano, tetradecano, azuleno, 4,6-dimetil- dodecano, pentadecano, α – acoradieno, heptadecano), carboxílico (ácido butanoico), cetona (1-(2-hidroxifenil)-etanona) e aldeídos (octanal e nonanal).

Segundo Murali-baskaran *et al.* (2018), o hidrocarboneto pentadecano é um composto que podem atuar sozinho ou em conjunto com agrotóxicos, por causa de sua capacidade em recrutar predadores para os insetos prejudiciais aos cultivos.

Tabela 3 - Compostos orgânicos voláteis identificados na variedade de palma forrageira Orelha de Onça sadia e infestada por *Diaspis echinocacti*

Nº	TR	IR	Composto*	Classe
1	14,151	868	1,2-dietilbenzeno	Hidrocarboneto
2	14,533	876	1,2-dimetil-Benzeno	Hidrocarboneto
3	15,098	888	Butano	Hidrocarboneto
4	18,775	996	Ácido butanoico	Ácido Carboxílico
5	18,997	1004	Octanal	Aldeído
6	21,412	1101	Tetradecano	Hidrocarboneto

7	21,527	1106	Nonanal	Aldeído
8	23,440	1196	Azuleno	Hidrocarboneto
9	24,839	1269	1-(2-hidroxifenil)- etanona	Cetona
10	24,986	1276	4,6-dimetil- Dodecano	Hidrocarboneto
11	27,199	1400	Pentadecano	Hidrocarboneto
12	28,196	1461	α – acoradieno	Hidrocarboneto
13	30,375	1600	Heptadecano	Hidrocarboneto

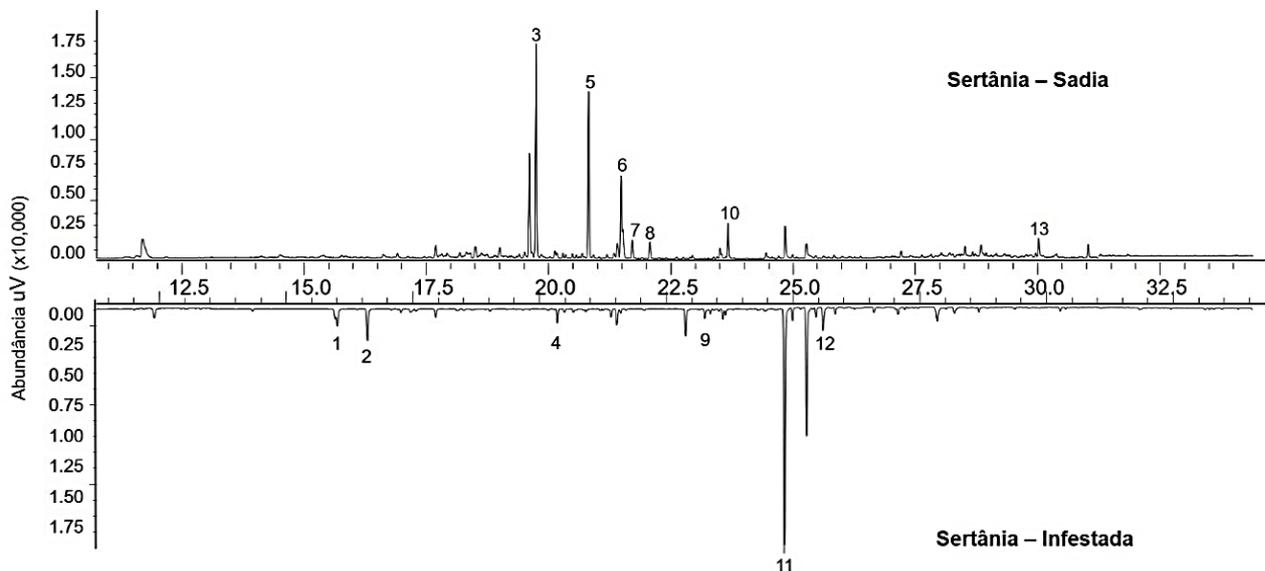
Nº= número do pico; TR= Tempo de retenção; IR= índice de retenção; *compostos com identificação proposta por meio das análises de fragmentação dos espectros de massa; Análise CG-FID com coluna NST-05; análise GC-MS com coluna ZB-5MS.

Fonte: O autor (2023).

Na variedade Sertânia suscetível à cochonilha de escama, foram identificados 13 compostos (Figura 7), consistiram em sete compostos com a planta sem o ataque do inseto, e seis da planta sofrendo as injúrias de *D. echinocacti*.

A presença do composto decanal na planta sadia trata-se um aldeído presente também em feromônio de agregação de insetos da ordem taxonômica dos coleópteros, que exercem a atividade de recrutamento de insetos da mesma espécie para uma determinada área com a finalidade de informar a presença de alimento, ocasionado nas culturas agrícolas elevadas taxas populacionais de insetos herbívoros (HASSEMER, 2014).

Figura 7 - Ionograma dos extratos da variedade de palma forrageira Sertânia (sadia e infestada pela cochonilha de escama)



Fonte: O autor (2023).

Na tabela 4, observa-se cinco classes de COVs diferentes, tratando-se em sua maioria de hidrocarbonetos ramificados e lineares (2-metil-propano, bornylene, 5-etil-2-metil- octano, linalol, endo-triciclo – decano, 3,5-dimetil - 1,6- octadieno, 2,6-dimetil-1,5- heptadieno), álcool (2-metil-3-buten-2-ol), aldeídos (nonanal, decanal, 4-etilbenzaldeído), cetona (1-(2-hidroxifenil) -etanona) e carboxílico (2- ácido propanoico).

Os compostos voláteis da classe dos aldeídos e álcoois são emitidos nas maiorias das plantas quando são acometidas por insetos herbívoros ou patógenos, exercendo a função primordial na defesa de plantas, em que são provenientes de aminoácidos (leucina, isoleucina e alanina), e igualmente atuam nas defesas indiretas contra os insetos-praga (DUDAREVA *et al.*, 2006).

Tabela 4 - Compostos orgânicos voláteis identificados na variedade de palma forrageira Sertânia sadia e infestada por *Diaspis echinocacti*

Nº	TR	IR	Composto*	Classe
1	16,005	910	2-metil-3-Buten-2-ol	Álcool
2	16,604	929	2-metil-Propano	Hidrocarboneto
3	19,739	1034	Bornylene	Hidrocarboneto
4	20,350	1058	5-etil-2-metil- Octano	Hidrocarboneto
5	20,817	1077	1-(5- fluoro -2- hidroxifenil)-etanona	Cetona
6	21,480	1104	Endo-triciclo - Decano	Hidrocarboneto
7	21,520	1106	Nonanal	Aldeído
8	21,708	1115	3,5-dimetil - 1,6- Octadieno	Hidrocarboneto
9	22,884	1170	4-Etilbenzaldeído	Aldeído
10	23,668	1207	Decanal	Aldeído
11	24,833	1225	Linalol	Álcool
12	25,590	1308	2- ácido Propanoico	Carboxílico
13	30,017	1577	2,6-dimetil-1,5- Heptadieno	Hidrocarboneto

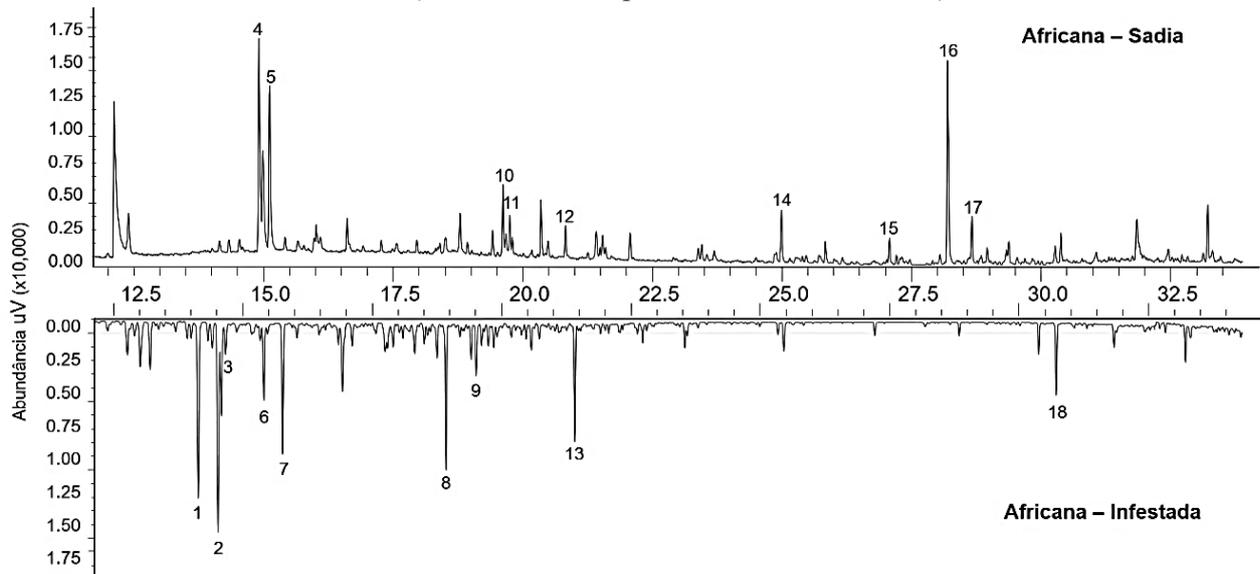
Nº= número do pico; TR= Tempo de retenção; IR= índice de retenção; *compostos com identificação proposta por meio das análises de fragmentação dos espectros de massa; Análise CG-FID com coluna NST-05; análise GC-MS com coluna ZB-5MS.

Fonte: O autor (2023).

Na variedade orelha de elefante africana que apresenta resistência à praga (Figura 8), as análises dos extratos das plantas com e sem infestação resultaram na identificação de 18 compostos, com números iguais de compostos (9) para a planta sadia e infestada.

Os compostos emitidos 4,6-dimetil – dodecano na palma sem infestação e o 4-metil – Octano foram observados logo após o ataque de *D. echinocacti*, são COVs já relatados em cultivar de mandioca Equador 72 resistente à mosca branca em tratamentos controle e infestados, no qual a sua resistência interfere negativamente no ciclo de vida do inseto quando pratica a herbivoria (RIBEIRO, 2015).

Figura 8 - Ionograma dos extratos da variedade de palma forrageira Orelha de Elefante Africana (sadia e infestada pela cochonilha de escama)



Fonte: O autor (2023).

Os compostos estão distribuídos em cinco classes, sendo: hidrocarbonetos ramificados e lineares (1,2-dietilbenzeno, 1,2-dimetil-benzeno, 4-metil – octano, butano, nonano, decano, 5-etil-2-metil – heptano, 1-metil – benzeno, bornylene, tetradecano, 4,6-dimetil – dodecano, 3-etil – tetradeceno, α – acoradieno, 2,4- diona- Octano), álcool (3-metil – butanol), carboxílico (ácido undecanoico), éster (9-tridecen – acetato) e aldeído (4-heptenal).

Na planta infestada, o composto da classe éster encontra-se emitido significativamente em relação à planta sadia, sendo os compostos desta classe responsáveis por atuar como inseticidas para insetos herbívoros, dentre eles mariposas e besouros, em razão de ser pouco tóxico para o meio ambiente e animais (KHAN *et al.*, 2018).

Tabela 5 - Compostos orgânicos voláteis identificados na variedade de palma forrageira Orelha de Elefante Africana sadia e infestada por *Diaspis echinocacti*

Nº	TR	IR	Composto*	Classe
1	14,141	868	1,2-dietilbenzeno	Hidrocarboneto
2	14,524	876	1,2-dimetil-Benzeno	Hidrocarboneto

3	14,668	879	4-metil - Octano	Hidrocarboneto
4	14,908	884	3-metil - Butanol	Álcool
5	15,115	888	Butano	Hidrocarboneto
6	15,409	894	4-Heptenal	Aldeído
7	15,770	903	Nonano	Hidrocarboneto
8	18,926	1001	Decano	Hidrocarboneto
9	19,511	1025	5-etil-2-metil – Heptano	Hidrocarboneto
10	19,615	1029	1-metil – Benzeno	Hidrocarboneto
11	19,748	1034	Bornylene	Hidrocarboneto
12	20,823	1098	2,4- diona- Octano	Hidrocarboneto
13	21,413	1101	Tetradecano	Hidrocarboneto
14	24,988	1276	4,6-dimetil – Dodecano	Hidrocarboneto
15	27,075	1393	3- etil - Tetradeceno	Hidrocarboneto
16	28,196	1461	α – acoradieno	Hidrocarboneto
17	28,662	1489	Ácido Undecanoico	Ácido Carboxílico
18	30,715	1623	9-Tridecen - acetato	Éster

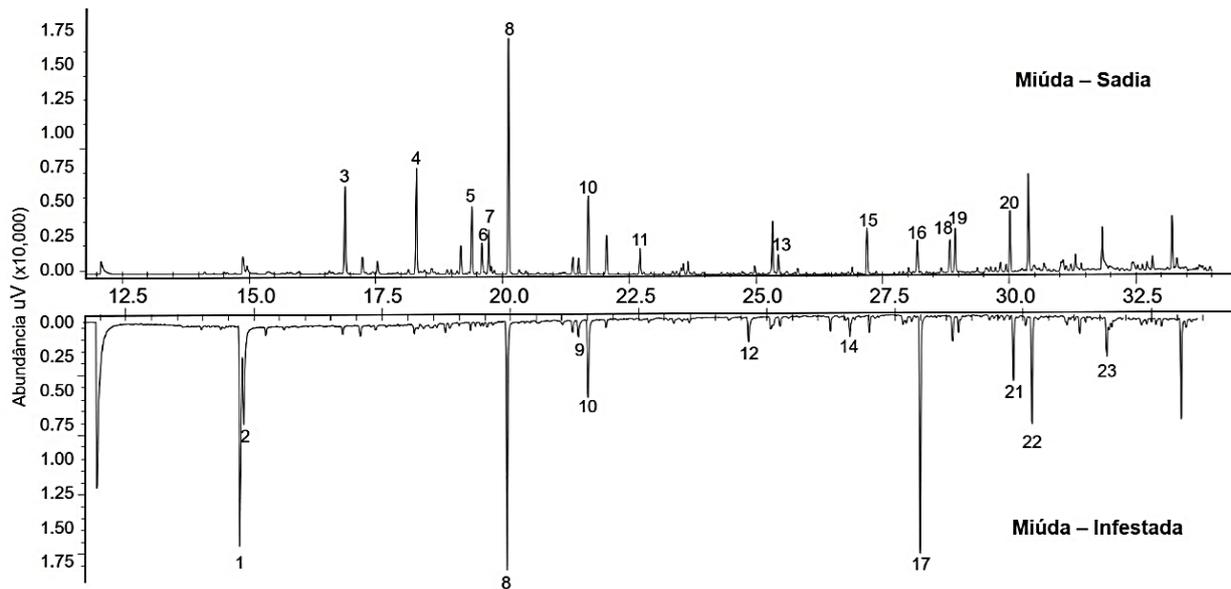
Nº= número do pico; TR= Tempo de retenção; IR= índice de retenção; *compostos com identificação proposta por meio das análises de fragmentação dos espectros de massa; Análise CG-FID com coluna NST-05; análise GC-MS com coluna ZB-5MS.

Fonte: O autor (2023).

Na palma forrageira da variedade miúda realizou-se a identificação de 23 compostos, o qual a planta sadia apresentou doze compostos e a planta infestada nove, ressaltando a presença de COVs que se repetiram nos dois ionogramas apresentando áreas iguais entre os tratamentos que foram o 3,7-dimetil - 1,3,6-octatrieno e o 1,5- octadieno.

Os compostos α – pineno e β - pineno indicam que insetos-praga optam em realizar a oviposição em plantas antes da infestação, indicando que plantas com injúrias são menos pretendidas (ANASTASAKI *et al.*, 2018).

Figura 9 - Ionograma dos extratos da variedade de palma forrageira Miúda ou doce (sadia e infestada pela cochonilha de escama)



Fonte: O autor (2023).

As cinco classes que os compostos identificados estão classificados, são: em maior número dos hidrocarbonetos ramificados e lineares (α - pineno, β - pineno, 1-metil - benzeno, bornylene, 3,7-dimetil - 1,3,6-octatrieno, 1,5- octadieno, pentilbenzeno, tridecano, 1,5 - tetrametil - 1,2,4 - azuleno, pentadecano, α - acoradieno, α - farneseno, 2,6-dimetil-1,5-heptadieno, α -cadineno, heptadecano), álcool (3-metil - butanol, 2-metil - butanol, dodecadieno-1-ol, 11-tetradecen-1-ol), aldeído (nonanal), cetona (1-(2-hidroxifenil)-etanona, 5-hexil-dihydrofuran-2(3h)-ona) e éster (2-metil-2-butenato).

A presença do composto α -cadineno também foi relatado na cultura da fava (*Vicia faba* var. Nintoku Issun) em plantas com infestação por *Aphis craccivora* Koch, 1854 (Hemiptera: Aphididae) e *Acyrtosiphon pisum* (Hemiptera: Aphididae) (TAKEMOTO; TAKABAYASHI, 2015).

Tabela 6 - Compostos orgânicos voláteis identificados na variedade de palma forrageira Miúda sadia e infestada por *Diaspis echinocacti*

Nº	TR	IR	Composto*	Classe
1	14,921	884	3-metil - Butanol	Álcool
2	14,998	886	2-metil - Butanol	Álcool
3	16,921	939	α - Pineno	Hidrocarboneto
4	18,325	982	β - Pineno	Hidrocarboneto

5	19,416	1021	2-metil-2-butenato	Éster
6	19,613	1029	1-metil - Benzeno	Hidrocarboneto
7	19,746	1034	Bornylene	Hidrocarboneto
8	20,135	1050	3,7-dimetil - 1,3,6-Octatrieno	Hidrocarboneto
9	21,528	1106	Nonanal	Aldeído
10	21,709	1115	1,5- Octadieno	Hidrocarboneto
11	22,728	1162	Pentilbenzeno	Hidrocarboneto
12	24,847	1269	1-(2-hidroxifenil)-etanona	Cetona
13	25,448	1300	Tridecano	Hidrocarboneto
14	26,825	1379	1,5 – Tetrametil – 1,2,4 - Azuleno	Hidrocarboneto
15	27,200	1400	Pentadecano	Hidrocarboneto
16	28,187	1458	5-Hexil-Dihydrofuran-2(3H)-ona	Cetona
17	28,194	1461	α – acoradieno	Hidrocarboneto
18	28,830	1500	Dodecadieno-1-ol	Álcool
19	28,934	1506	β – Farneseno	Hidrocarboneto
20	30,012	1577	2,6-Dimetil-1,5-Heptadieno	Hidrocarboneto
21	30,016	1581	α -Cadineno	Hidrocarboneto
22	30,378	1600	Heptadecano	Hidrocarboneto
23	31,307	1664	11-Tetradecen-1-ol	Álcool

Nº= número do pico; TR= Tempo de retenção; IR= índice de retenção; *compostos com identificação proposta por meio das análises de fragmentação dos espectros de massa; Análise CG-FID com coluna NST-05; análise GC-MS com coluna ZB-5MS.

Fonte: O autor (2023).

As cinco variedades de palma forrageira, resistentes e suscetíveis a cochonilha de escama, apresentaram diferenças na emissão de compostos orgânicos voláteis entre a planta sadia e infestada pela praga. Os COVs emitidos por plantas podem se fazer presente em algumas espécies, como apresentarem-se exclusivamente em uma única espécie, os quais permitem que os insetos consigam desenvolver atividades essenciais, como na identificação de fontes de alimento e em locais para oviposição (NARANJO-GUEVARA *et al.*, 2017).

Em estudos realizados com distintas variedades de milho e cana-de-açúcar, observou-se que as variedades destas culturas emitiram também COVs diferentes, sendo possível estar

relacionados ao recrutamento de insetos-praga ou à resistência (repelência) (SCHNEE *et al.*, 2002; TAVARES, 2016).

As plantas atacadas pela cochonilha de escama emitiram combinações de novos voláteis, os quais podem atuar na defesa da planta contra as injúrias provocadas pela praga (LACKUS *et al.*, 2018). Segundo Maeda *et al.* (2015), no ataque de insetos herbívoros as plantas utilizam como defesa a liberação de COVs, que atuam emitindo uma mensagem química, sendo considerados potenciais para o recrutamento de insetos predadores na planta atacada.

Na tabela 7, podemos observar que o gênero *Opuntia* apresentou três variedades de palma forrageira com maior quantidade de compostos emitidos antes e após a infestação por *D. echinocacti*, enquanto em comparação com as plantas referentes ao gênero *Nopalea*, ao ter somente duas variedades, apresentou menos compostos liberados. Além do destaque do composto nonanal que é encontrado em ambos os gêneros de palma sadias e infestadas, com exclusão apenas na variedade orelha de elefante africana.

Os compostos emitidos podem ser responsáveis pelo sucesso do MIP em áreas de produção agrícola, uma vez que, coopera para o estabelecimento do método de controle biológico de insetos, através das análises das informações disponibilizadas sobre a dispersão das pragas no espaço de cultivo e/ou na própria planta, resultando no emprego de organismos de controle no combate as pragas (SPODEK *et al.*, 2018).

Foi verificado que as plantas infestadas pela cochonilha de escama emitem COVs que podem ser utilizados como mensageiros químicos os denominados feromônios sexuais ou auxiliar no recrutamento de inimigos naturais por meio da realização de monitoramento do inseto mediante amostragem da flutuação populacional, e a realização de avaliações sobre o impacto ambiental utilizando espécies de insetos como indicadores ecológicos (TENA *et al.*, 2017; MENEZES *et al.*, 2017).

Tabela 7 - Compostos orgânicos voláteis presentes e ausentes nas cinco variedades de palma forrageira sadia e infestada por *Diaspis echinocacti*

N°	Compostos	F8		Redonda		Sertânia		Africana		Miúda	
		S	I	S	I	S	I	S	I	S	I
1	2,4-dimetil-heptano**	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-
2	3-metil butanol*	X	-	-	-	-	-	X	-	-	X
3	2,3-butanodiol*	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	nonano*	-	X	-	-	-	-	-	X	-	-

58	tridecano**	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
59	5-hexil-dihidrofurano- 2(3h)-ona*	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
60	dodecadieno-1-ol*	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
61	β -farneseno**	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-

(x) presente, (-) ausência do composto no extrato; *compostos com identificação proposta por meio das análises de fragmentação dos espectros de massa; **confirmação dos compostos identificados com padrões. Análise CG-FID com coluna NST-05; análise GC-MS com coluna ZB-5MS.

Sendo, os COVs liberados pelas variedades de palma forrageira, possíveis aliados de uma produção agrícola sustentável e eficiente, gerenciado pelo emprego do MIP, que propõe-se sempre buscar a estabilidade entre a sociedade, o ambiente e o cultivo, através do conhecimento das espécies de predadores a serem utilizados para o controle de populações de insetos-praga, como as cochonilhas, diminuindo de maneira significativa a aplicação e frequência de produtos químicos, principalmente inseticidas (BELTRÀ, 2015).

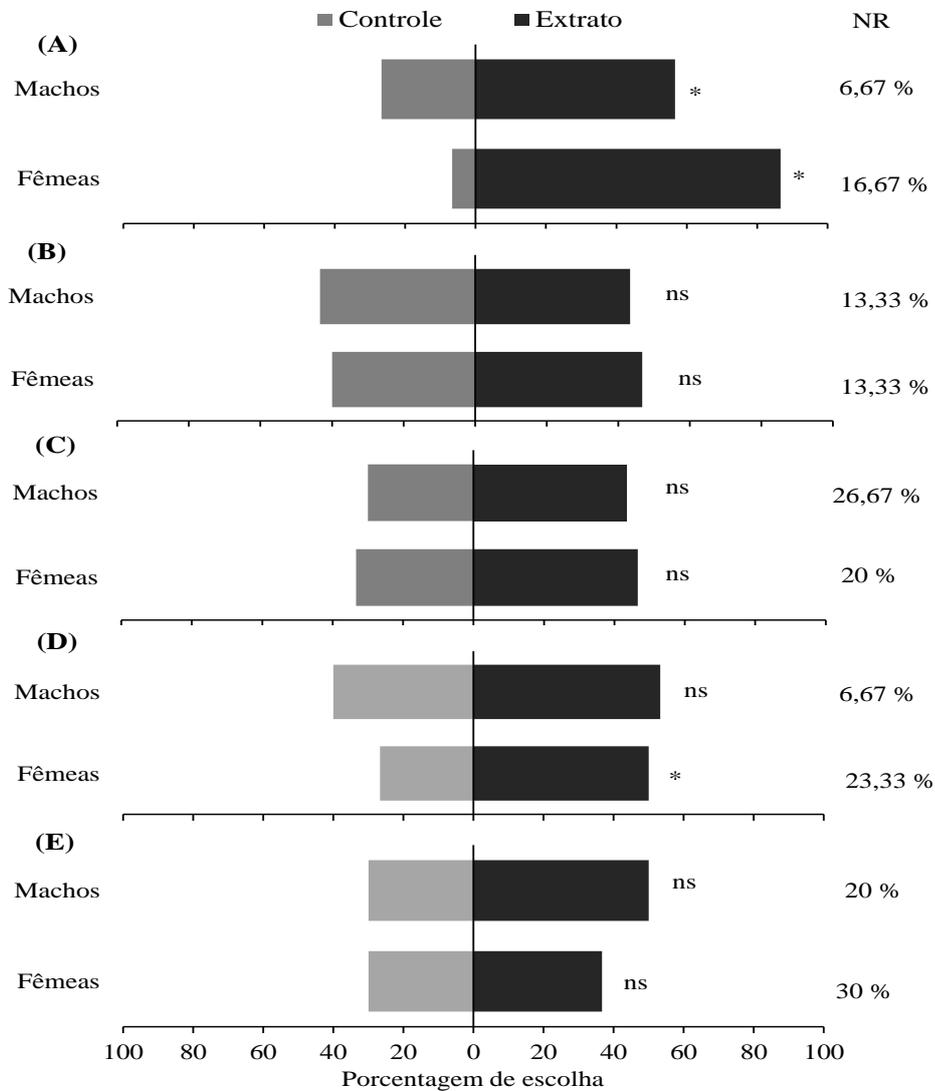
5.2. Bioensaios comportamentais dos extratos das cinco variedades de palma forrageira frente ao ataque de *Diaspis echinocacti* com os dois inimigos naturais *Coccidophilus citricola* e *Zagreus bimaculosus*.

Nos testes de olfatométrica com os extratos das plantas infestadas, foram observadas nas respostas comportamentais diferenças significativas de recrutamento do inseto predador *C. citricola* (Figura 10). No qual o extrato da variedade sertânia atraiu ambos ($P < 0,001$) entre o número de insetos machos que escolheram o tratamento extrato (56,66%) e fêmeas (86,66%), enquanto o extrato da variedade redonda foi responsável apenas pelo recrutamento das fêmeas ($P = 0,029$) apresentando uma porcentagem de seleção de (50%), já para os extratos das demais variedades não ocorreu atratividade. Em experimento de predação, Silva *et al.* (2003) constataram que a joaninha *C. citricola* foi responsável por se alimentar de adultos e principalmente de ninfas da cochonilha *Aspidiotus nerii* Bouché, 1833 (Hemiptera: Diaspididae), sendo um possível indicador no recrutamento deste predador por insetos da ordem Hemiptera.

Na variedade redonda a porcentagem de escolha dos machos para o extrato foi maior (53,33%), contudo, o inseto apresentou preferência de 40% para o tratamento controle, não manifestando resposta significativa ($P = 0,314$).

As cochonilhas que apresentam a característica de secretar uma carapaça cerosa, dentre elas a cochonilha de escama, foram relatadas na cultura dos citros sendo predadas por *C. citricola* reforçando o interesse de recrutamento (GRAVENA *et al.*, 1988).

Figura 10 - Resposta comportamental de machos (n=40) e fêmeas (n=40) de *Coccidophilus citricola* para extratos das cinco variedades de palma forrageira após a infestação por *Diaspis echinocacti*, variedade sertânia (A); variedade miúda (B); variedade F8 (C); variedade redonda (D) e variedade africana (E)



*Significativo estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste do qui-quadrado. NR- Não respondentes

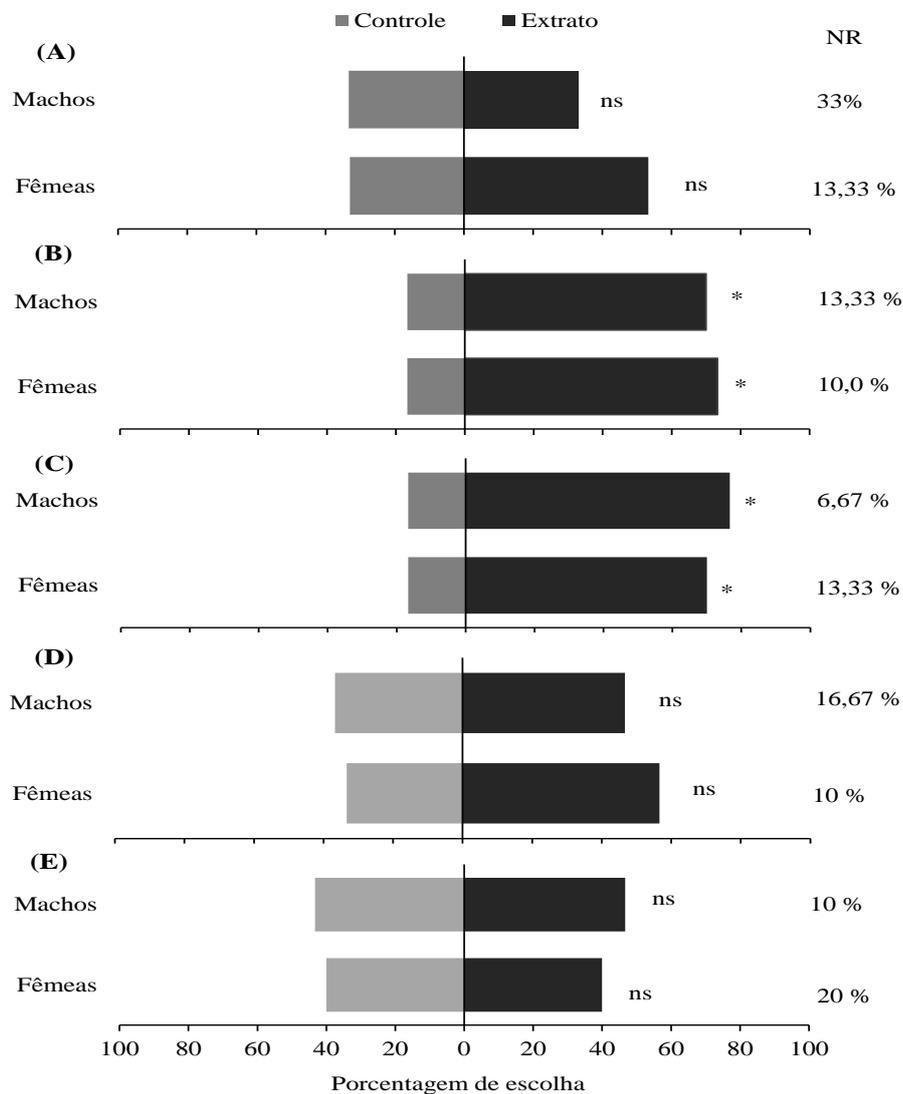
Fonte: O autor (2023).

Com a espécie *Z. bimaculosus* (Figura 11), apenas os extratos de duas variedades de palma forrageira apresentaram respostas de atratividade. Sendo o extrato da variedade miúda atrativo para machos e fêmeas ($P < 0,001$) com uma porcentagem de escolha de insetos machos para o tratamento extrato (70%) e fêmeas (73,33%). Na mesma proporção, o extrato da variedade F8 indicou atratividade para ambos os sexos ($P < 0,001$) apresentando preferência de machos para o extrato do tratamento (76,66%) e (70%) para fêmeas. Uma vez que, em tais variedades infestadas, o composto nonanal responsável pelo recrutamento de predadores que se

fez presente, com uma maior concentração na F8. Para os extratos das variedades sertânia, redonda e africana não foram observadas diferenças significativas.

Segundo Santos *et al.* (2006), o inimigo natural *Z. bimaculosus* caracteriza-se como uma alternativa viável para o controle biológico, pois faz-se presente em áreas de cultivo agrícola atacadas pela cochonilha de escama realizando predação em razão de seu recrutamento.

Figura 11 - Resposta comportamental de machos (n=40) e fêmeas (n=40) de *Zagreus bimaculosus* para extratos das cinco variedades de palma forrageira após a infestação pela *Diaspis echinocacti*, variedade sertânia (A); variedade miúda (B); variedade F8 (C); variedade redonda (D) e variedade africana (E)



*Significativo estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste do qui-quadrado. NR- Não respondentes
Fonte: O autor (2023).

Os COVs emitidos das interações tritróficas, vem contribuindo para o programa de manejo integrado de pragas, frisando o controle biológico, sendo comprovado por testes de bioensaios comportamentais, em que os insetos que atuam como inimigos naturais são atraídos

pelos COVs de plantas que são alvo de insetos herbívoros (DICKE; LOON, 2000).

Com os testes de recrutamento foi observado que extratos das variedades de palma forrageira após a infestação, conseguiram recrutar o *C. citricola* e *Z. bimaculosus*, mostrando que logo depois o ataque da cochonilha de escama, os COVs são encarregados da interatividade entre planta-predador, tornando-se um importante elemento no controle da praga.

Segundo TAHMASEBI *et al.* (2014) a variedade cultivada e/ou parte da planta, como o ciclo de vida da praga, são elementos que fazem com que a planta emita diferentes COVs, o que pode explicar a diferença no recrutamento do *C. citricola* e *Z. bimaculosus*.

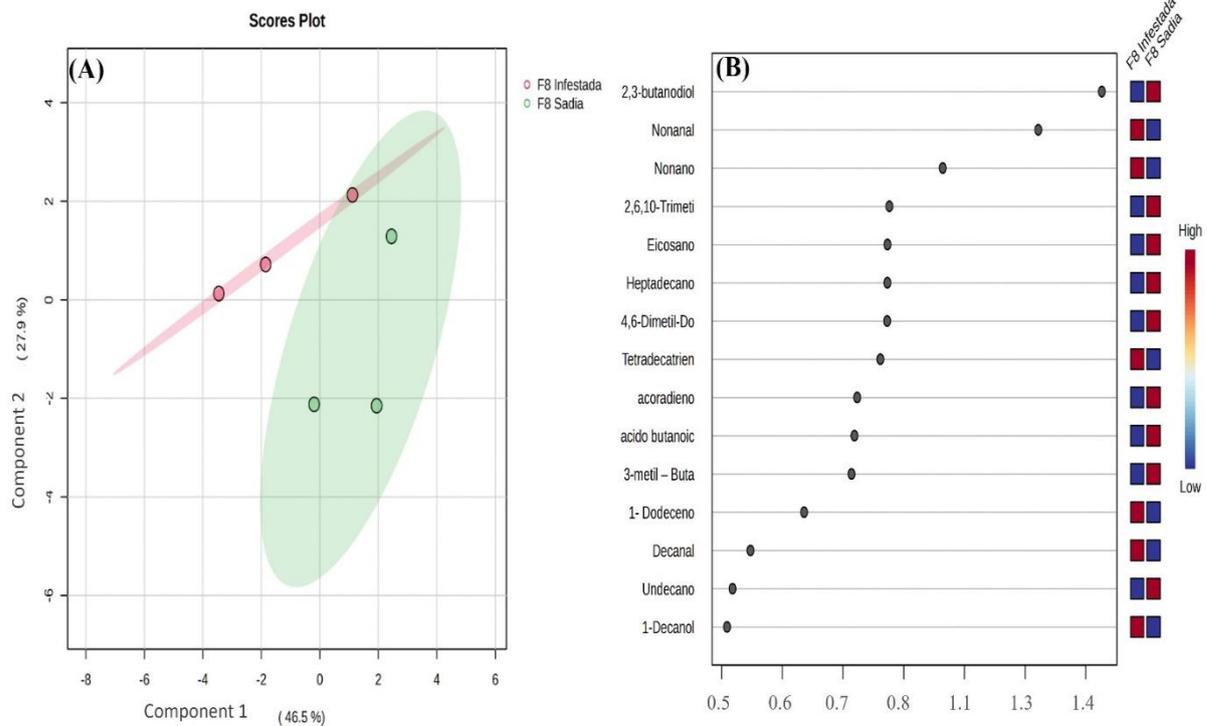
5.3. Análises de componentes principais com base nas áreas dos COVs

Para as cinco variedades de palma forrageira sadias e infestadas pela cochonilha de escama, foram empregadas a análise discriminante por mínimos quadrados parciais (PLS-DA), como uma maneira de compreender as paridades e as discrepâncias dos COVs emitidos.

Podemos observar (Gráfico 1) que os componentes principais foram significativos explicando 74,4% da variação e separação, retratando visivelmente entre os dois perfis uma interação entre os tratamentos ocasionados pela emissão dos COVs da variedade F8. O primeiro componente 1, explica 46,5% da variância de separação, enquanto, o segundo componente 2 explica cerca de 27,9%. Com isso, é sugerindo que os tratamentos em sua maioria liberam diferentes COVs.

As áreas dos voláteis apresentaram diferenças entre os tratamentos da variedade F8 (Figura 13B). Para a análise discriminatória, os compostos que exibiram o valor VIP > 1.0 são os decisórios para discriminar os tratamentos. O composto 2,3-butanodiol apresenta valor VIP >1.4 sendo o responsável pela discriminação entre os tratamentos devido a sua maior concentração, fazendo-se presente em menor concentração na planta infestada. Esse COV é capaz de ativar a defesa da planta em resposta ao ataque do inseto herbívoro (DINIZ, 2022). Em contrapartida, os compostos nonanal e nonano com VIP >1.3 e 1.1, respectivamente, são os compostos que manifestam as maiores concentrações após a infestação de *D. echinocacti*, colaborando para a discriminação. O composto nonanal também foi relatado atuando em espécies de *Passiflora* spp. com e sem infestação pelo *Cowpea aphid-borne* transmitido por afídeos (MESQUITA, 2016). Segundo Damasceno (2007), o nonano é um composto comumente encontrando em baixas concentrações em voláteis de plantas, caso diferente do que ocorreu com a variedade F8 infestada.

Gráfico 1 - Representação de scores plot da análise discriminante de mínimos quadrados parciais (PLS-DA) (A); Análise das variáveis importantes na projeção VIP scores (PLS-DA) para a discriminação entre as amostras, em ordem decrescente (B) referentes a variedade de palma forrageira F8 sadia e infestada por *Diaspis echinocacti*



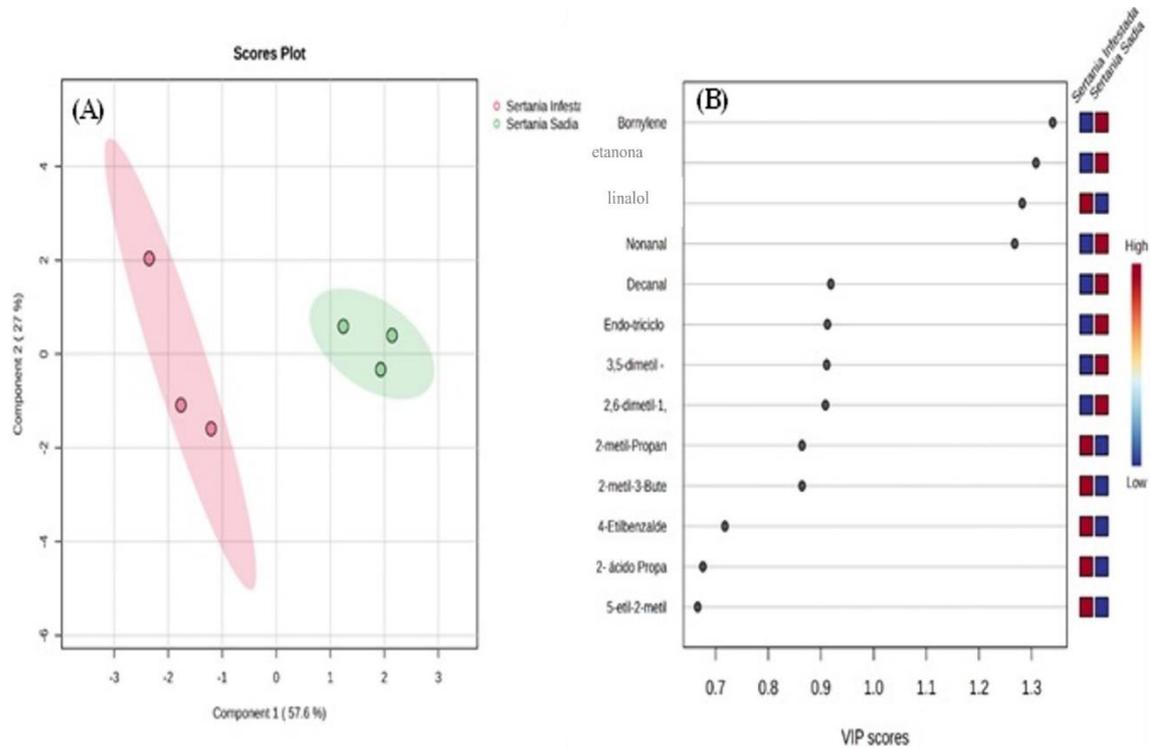
Fonte: O autor (2023).

Foi realizado a PLS-DA (Gráfico 2) no qual a somatória cumulativa entre os eixos resulta em 84,6% de explicação da variabilidade absoluta, mostrando que ocorre diferença entre os dois perfis dos COVs emitidos da planta sadia e infestada. Observar-se que o componente 1 explica a maioria da variância com 57,6%, já o componente 2 representa 27%.

Os compostos e suas áreas que se apresentaram diferentes significativamente entre os tratamentos (Gráfico 2), sendo que quatro compostos em ordem decrescente estão com pontuação VIP > 1.0 os quais foram decisivos para discriminação entre os tratamentos de palma forrageira. O composto que contribuiu para a discriminação entre os tratamentos em razão de sua maior concentração na planta sadia é o bornylene com VIP > 1.3, porém, na planta infestada encontra-se em baixa concentração. Foi identificado também em trabalhos como sendo um componente principal que pode recrutar pragas agrícolas para os cultivos e/ou para aves comerciais (SILVA, 2017; VAZ, 2018). Os compostos linalol, 1-(2-hidroxifenil)-etanona e nonanal apresentam um VIP > 1.2. O linalol exibe uma elevada concentração para a planta infestada, podendo atuar recrutando e/ou repelindo insetos-praga, como também alterando a preferência de oviposição mariposas *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) (HUFF; JASON PITTS, 2019; PROFFIT *et al.*, 2011). O composto 1-(5- fluoro

-2-hidroxifenil)-etanona, presente em maior concentração na planta sadia, contribui para a discriminação diante dos tratamentos, podendo atuar como agente alelopático (SILVA *et al.*, 2013).

Gráfico 2 - Representação de scores plot da análise discriminante de mínimos quadrados parciais (PLS-DA) (A); Análise das variáveis importantes na projeção VIP scores (PLS-DA) para a discriminação entre as amostras, em ordem decrescente (B) referentes a variedade de palma forrageira sertânia sadia e infestada por *Diaspis echinocacti*



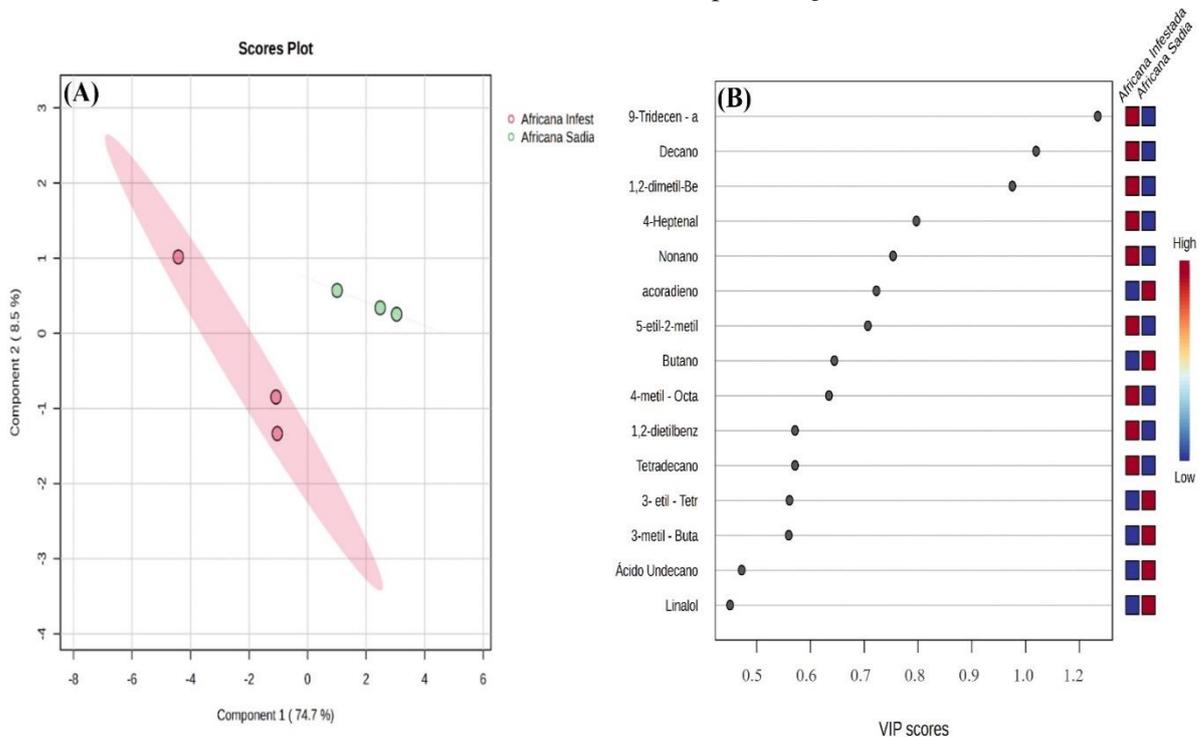
Fonte: O autor (2023).

Os tratamentos controle e infestado apresentaram dissimilaridades na emissão dos COVs (Gráfico 3), em que os componentes principais explicaram 83,2% da separação e variância, com o componente 1 explicando a maioria da variabilidade 74,7% e o componente 2 com apenas 8,5%, em razão da área da planta infestada demonstrar uma maior concentração dos compostos os quais influenciaram para a diferença.

Na variedade de palma forrageira orelha de elefante africana (Gráfico 3), verificou-se que dois compostos apresentaram o $VIP > 1.0$ sendo os principais responsáveis pela análise discriminatória entre a planta sadia e infestada pela cochonilha de escama. Os compostos 9-tridecen – acetato e decano exibiram no gráfico de VIP scores concentrações elevadas após a infestação da praga na cultura, enquanto, as baixas concentrações ocorreram na ausência do inseto herbívoro.

O 9-tridecen – acetato expõe uma pontuação VIP > 1.2 sendo um composto da classe dos ésteres, que podem desenvolver várias funções para a planta como, adequação ao meio ambiente, proteção e recrutamento de inimigos naturais (MONTEIRO *et al.*, 2014). Para o composto decano presente na classe dos hidrocarbonetos mostrou-se um VIP > 1.0 que se fez presente também na emissão dos COVs de cultivares de pimentão infestados pela praga *aphis gossypii* que trata-se de um pulgão, sendo ausente na planta antes de ser infestada, resultados que corroboram com a presente pesquisa, indicando que as plantas emitem outros COVs quando infestadas por pragas (COSTA, 2010).

Gráfico 3 - Representação de scores plot da análise discriminante de mínimos quadrados parciais (PLS-DA) (A); Análise das variáveis importantes na projeção VIP scores (PLS-DA) para a discriminação entre as amostras, em ordem decrescente (B) referentes a variedade de palma forrageira orelha de elefante africana sadia e infestada por *Diaspis echinocacti*



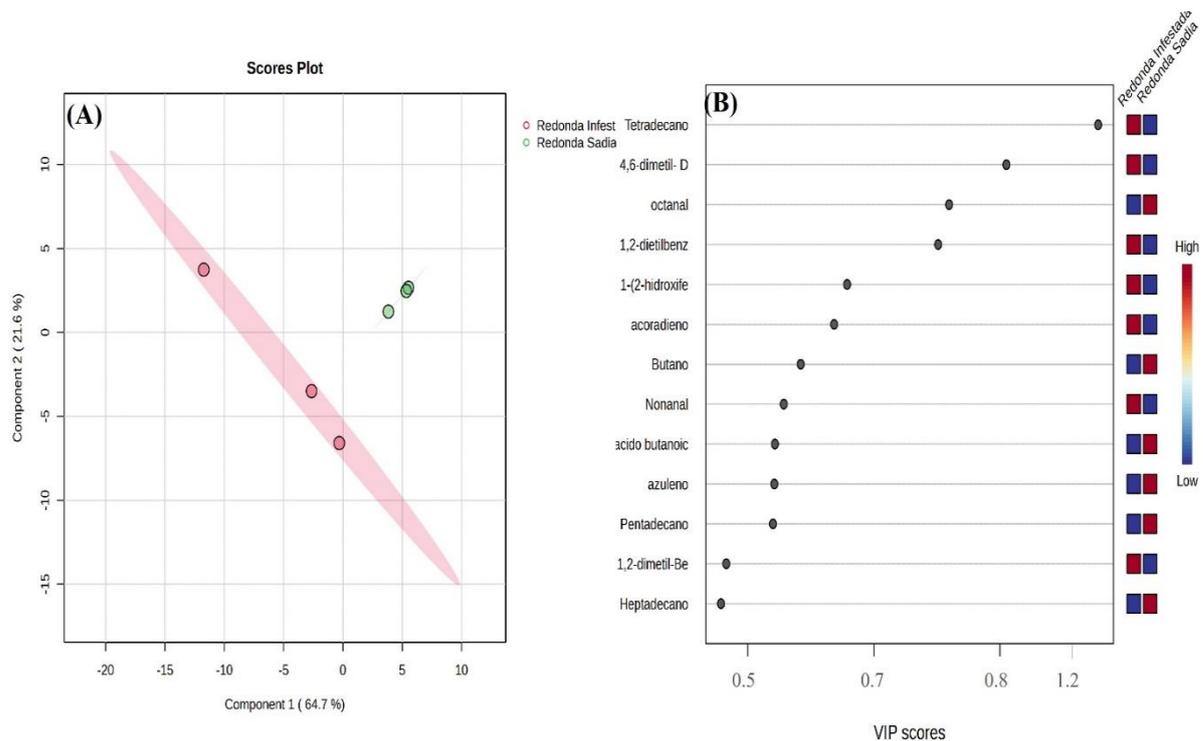
Fonte: O autor (2023).

Os componentes principais da variedade de palma forrageira redonda na análise de PLS-DA (Gráfico 4) mostraram-se significativos com 86,3% de esclarecimento dos eixos, constatando que os COVs emitidos na planta antes de ser infestada e após infestação são diferentes (Gráfico 4), em que o componente 1 com 64,7% explicita a variância, à medida que, o componente 2 apresenta 21,6% de elucidação.

O valor de VIP > 1.0 foi primordial para a discriminação entre os tratamentos, com apenas o composto tetradecano apresentando um VIP > 1.2 (Figura 16B) com maior

concentração na planta infestada, no entanto, com comportamento inverso para a planta sadia. O tetradecano também foi identificado somente em plantas de melão infestadas com *Bemisia tabaci* biótipo B (Gennadius, 1889), pois trata-se de um composto que pode agir no recrutamento de inimigos naturais (SILVEIRA, 2018).

Gráfico 4 - Representação de scores plot da análise discriminante de mínimos quadrados parciais (PLS-DA) (A); Análise das variáveis importantes na projeção VIP scores (PLS-DA) para a discriminação entre as amostras, em ordem decrescente (B) referentes a variedade de palma forrageira redonda ou orelha de onça sadia e infestada por *Diaspis echinocacti*

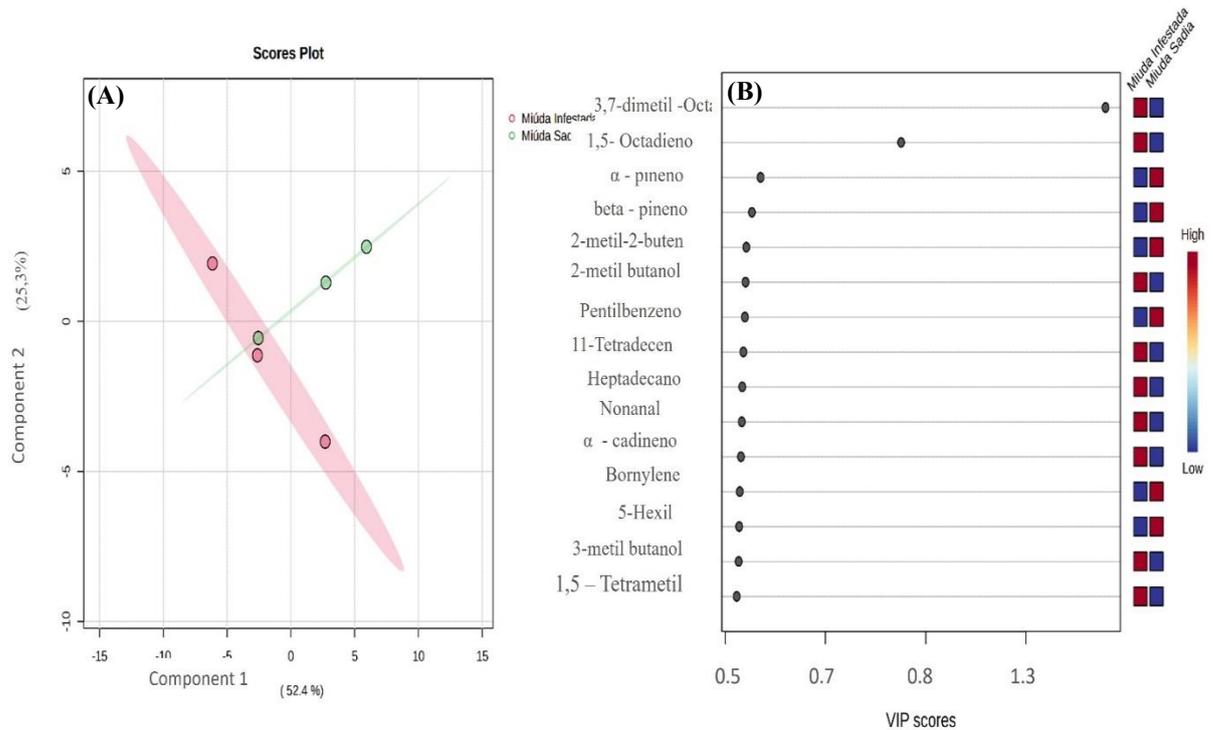


Fonte: O autor (2024).

A variância e separação dos eixos expressaram 77,7% de explicação dos componentes principais (Gráfico 5), sendo observado uma interação entre os tratamentos da variedade de palma forrageira miúda. O componente 1 apresentou uma porcentagem de 52,4% de interpretação dos dados, em contrapartida, o componente 2 com 25,3% de explicação. Somente um composto apresentou-se significativo entre os tratamentos com um VIP > 1.3 em ordem decrescente.

O composto (*E*)-3,7-dimetil-1,3,6-Octatrieno (Gráfico 5), trata-se de um terpeno denominado de β -ocimeno, que foi identificado em algumas espécies de plantas como *Bauhinia unguolata* e *Medicago sativa*, visto que, é um componente que emiti voláteis em maior abundância como resposta de plantas ao ataque de insetos herbívoros (FALDT *et al.*, 2003).

Gráfico 5 - Representação de scores plot da análise discriminante de mínimos quadrados parciais (PLS-DA) (A); Análise das variáveis importantes na projeção VIP scores (PLS-DA) para a discriminação entre as amostras, em ordem decrescente (B) referentes a variedade de palma forrageira miúda sadia e infestada por *Diaspis echinocacti*



Fonte: O autor (2024).

Nas cinco variedades de palma forrageira onze compostos apresentaram um $VIP > 1,0$, sendo quatro compostos com concentrações elevadas para o tratamento da planta sadia, e sete compostos após a infestação foram significativos, diante das análises discriminatórias, podendo ser resultado ao ataque da herbivoria. Com as análises multivariadas observa-se que as concentrações dos compostos emitidos pelas variedades de palma forrageira são distintas, caso dos compostos 9-tridecen – acetato, tetradecano e nonanal que foram observados em variedades de palma forrageira do gênero *Opuntia* resistentes a cochonilha de escama *D. echinocacti*, logo após a infestação em elevadas concentrações, pois referem-se a COVs emitidos como resposta da planta pelo ataque da herbivoria por insetos-praga, visto que contribuem para o recrutamento de inimigos naturais (MONTEIRO *et al.*, 2014; SILVEIRA, 2018; FROST *et al.*, 2008).

6. CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou que as variedades de palma forrageira resistentes e suscetíveis à cochonilha de escama *Diaspis echinocacti*, quando submetidas à infestação, emitem novos compostos orgânicos voláteis (COVs) que expõem diferenças significativas em sua emissão.

Os bioensaios comportamentais com os extratos da planta infestada das variedades sertânia e redonda foram os que recrutaram o inimigo natural *C. citricola*.

Os bioensaios comportamentais com os extratos das variedades miúda e F8 recrutaram o inimigo natural *Z. bimaculosus*.

Ademais, a análise multivariada (PLS-DA) atestou a capacidade das plantas de modular sua resposta defensiva por meio da produção de COVs específicos.

REFERÊNCIAS

- ALI, M. Y.; NASEEM, T.; ARSHAD, M.; ASHRAF, I.; RIZWAN, M.; TAHIR, M.; RIZWAN, M.; SAYED, S.; ULLAH, M.I.; KHAN, R.R.; AMIR, M, B.; PAN, M.; LIU, T, X. Host-Plant Variations Affect the Biotic Potential, Survival, and Population Projection of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). **Insects**, v. 12, n. 5, p. 375-387, 2021.
- ALI, M. Y.; NASEEM, T.; ZHANG, J.; PAN, M.; ZHANG, F.; LIU, T. X. Plant volatiles and herbivore induced plant volatiles from chili pepper act as attractant of the aphid parasitoid *Aphelinus varipes* (Hymenoptera: Aphelinidae). **Plants**, v. 11, n. 10, p. 1350-1367, 2022.
- ANASTASAKI, E.; DRIZOU, F.; MILONAS, P. G. Electrophysiological and Oviposition Responses of *Tuta absoluta* Females to Herbivore-Induced Volatiles in Tomato Plants. **Journal of Chemical Ecology**, v. 44, n. 3, p. 288–298, 2018.
- BELTRÀ, A.; ADDISSON P.; ÁVALOS, J. A.; CROCHARD, D.; GARCIA-MARÍ, F.; GUERRIERI, E.; GILIOME, J. H.; MALAUSA, T.; NAVARRO-CAMPOS, C.; PALERO, F.; SOTO, A. Guiding Classical Biological Control of an Invasive Mealybug Using Integrative Taxonomy. **PLoS ONE**, v. 10, n. 6, p. 331 - 345, 2015.
- BRITO, G. S. M. S.; SANTOS, E. M.; ARAÚJO, G. G. L.; OLIVEIRA, J. S.; ZANINE, A. M.; PERAZZO, A. F.; CAMPOS, F. S.; LIMA, A. G. V. O.; CAVALCANTI, H. S. Mixed silages of cactus pear and gliricídia: chemical composition, fermentation characteristics, microbial population and aerobic stability. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 6834-6846, 2020.
- COSTA, J. G. **Caracterização química e genética da interação *Capsicum* spp. (Solanacea), pulgão *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) e o parasitóide *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera, Braconidae, Aphidiinae)**. 2010. 140 f. Tese (Biotecnologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2010.
- CRUZ, C. D. GENES - A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Sci., Agron. (Online)**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.
- DAMASCENO, F. C. **Microextração em fase sólida no modo headspace aplicada ao estudo de substâncias voláteis de plantas infestadas por galhas foliares entomógenas**. 2007. 143f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
- DICKE, M., LOON, J. J. A. Multitrophic effects of herbivore induced plant volatiles in an evolutionary context. **Entomol. Exp. Appl**, v.97, n. 3, p. 237-249, 2000.
- DUDAREVA, N.; NEGRE, F.; NAGEGOWDA, D. A. Plant volatiles: recent advances and future perspectives. **Critical Reviews in Plant Science**, v. 25, n. 5, p. 417-440, 2006.
- DINIZ, G. F. D. **Biocontrole de *Fusarium verticillioides* e promoção de crescimento de milho por bactérias isoladas de milho e sorgo**. 2022. 159f. Tese (Microbiologia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.
- FÄLDT, J.; ARIMURA, G.; GERSHENZON, J.; TAKABAYASHI, J.; BOHLMANN, J. Functional identification of AtTPS03 as (*E*)- β -ocimene synthase: a monoterpene synthase

catalyzing jasmonate-and wound-induced volatile formation in *Arabidopsis thaliana*. **Planta**, v. 216, n. 5, p. 745-751, 2003.

FONSÊCA, G. R. F.; HENRIQUE, J. C. G. S.; ALVES, C. P.; JARDIM, A. M. R. F.; JÚNIOR, G. N. A. Morphogenic and structural characteristics of forage palm with different planting configurations in consortium. **DELLOS: Desarrollo Local Sostenible**, v.16, n.45, p. 1760-1774, 2023.

FROST, C. J.; MESCHER, M. C.; CARLSON, J. E.; MORAES, C. M. Plant defense Priming against Herbivores: Getting ready for a different battle. **Plant Physiol**, v. 146, n. 3, p. 818-824, 2008.

GRAVENA, S.; LEÃO NETO, L. R.; MORETTI, F. C.; TOZATTI, G. Eficiência de inseticidas sobre a *Selenaspidus articulatus* (Morgan) (Homop., Diaspididae) e efeito sobre inimigos naturais na cultura dos citros. **Científica (Jaboticabal)**, v. 16, n. 2, p. 209-218, 1988.

HASSEMER, M. J. **Identificação de semioquímicos e percepção olfativa de *alphitobius diaperinus* panzer (coleoptera: tenebrionidae) a voláteis de coespecíficos**. 2014. 74f. Dissertação (Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

HEMPTINNE, J. L.; DIXON, A. F. G. Defence, oviposition and sex : semiochemical parsimony in two species of ladybird beetles (Coleoptera, Coccinellidae) ? A short review. **Eur. J.Entomol**, v. 97, p. 443-447, 2000.

HUFF, R. M.; JASON PITTS, R. An odorant receptor from *Anopheles gambiae* that demonstrates enantioselectivity to the plant volatile, linalol. **PLoS ONE**, v. 14, n. 11, p. 1– 15, 2019.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Estações Convencionais 2023**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesConvencionais>. Acesso em 30 ago. 2023.

KHAN S. A.; VERMA P.; PARASHARAMI V. A.; RAHMAN L.U. In Vitro Manipulations for Value Addition in Potent Herbal Insecticidal Activities of *Chrysanthemum cinerariaefolium*. **Springer, Singapore**, p. 395-416, 2018.

LACKUS, N. D.; LACKNER, S.; GERSHENZON, J.; UNSICKER, S. B.; KÖLLNER, T. G. The occurrence and formation of monoterpenes in herbivore-damaged poplar roots. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 17936-17948, 2018.

LIMA, G. F. C.; WANDERLEY, A. M.; GUEDES, F. X.; REGO, M. M. T.; DANTAS, F. D. G.; SILVA, J. G. M.; NOVAES, L. P.; AGUIAR, E. M. **Palma Forrageira irrigada e adensada: uma reserva Forrageira estratégica para o Semiárido Potiguar**. EMPARN. Parnamirim, Rio Grande do Norte, Brasil. 2015.

MAEDA, T.; KISHIMOTO, H.; WRIGHT, L. C.; JAMES, D. G. Mixture of synthetic herbivore-induced plant volatiles attracts more *Stethorus punctum picipes* (Casey) (Coleoptera: Coccinellidae) than a single volatile. **J Insect Behav**, v. 28, n. 2, p. 126–137, 2015.

MENEZES, K. O.; FERNANDES, M. H. A.; PAZ, H. H. R.; SOUZA, A. M.; TORRES, J. B.; OLIVEIRA, J. E. M. Parasitismo da cochonilha-farinhenta *Planococcus citri* (Hemiptera: Pseudococcidae) por *Coccidoxenoides perminutus* (Hymenoptera: Encyrtidae). **Revista Ceres, Viçosa**, v. 64, n.5, p. 486-491, 2017.

MESQUISTA, P. R. R. **Metabolômica aplicada à identificação de biomarcadores nas espécies frutíferas *Eugenia uniflora* L. e *Passiflora* spp.** 2016. 163f. Tese (Instituto de Química) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

MONTEIRO, T. S. A.; NASU, E. G. C.; GUIMARÃES, C. P.; NEVES, W. S.; MIZOBUTSIIV E. H.; FREITAS, L. G. Redução de inóculo de *Aphelenchoides besseyi* em sementes de *Brachiaria brizantha* tratadas com óleos essenciais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 7, p. 1149-1154, 2014.

MURALI-BASKARAN, R. K.; SHARMA, K. C.; KAUSHAL, P.; KUMAR, J.; PARTHIBAN, P.; SENTHIL-NATHAN, S.; MANKIN, R. W. Role of kairomone in biological control of crop pests A review. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 101, p. 3–15, 2018.

NARANJO-GUEVARA N.; PEÑAFLORES, M. F. G. V.; CABEZAS-GUERRERO, M. F.; BENTO, J. M. S. Nocturnal herbivore-induced plant volatiles attract the generalist predatory earwig *Doru luteipes* Scudder. **The Science of Nature**, v. 104, n. 9, p. 1-11, 2017.

PINTO-ZEVALLOS, D. M.; MARTINS, C. B. C.; PELLEGRINO, A. C.; ZARBIN, A. J. G. Compostos orgânicos voláteis na defesa induzida das plantas contra insetos herbívoros. **Quim. Nova**, v. 36, n. 9, p. 1395-1405, 2013.

PRESTES, A. C.; CUNHA, H. F. Interações entre cupins (isoptera) e formigas (hymenoptera) co-habitantes em cupinzeiros epígeos. **Revista de Biotecnologia & Ciência**, v. 1, n. 1, p. 50 – 60, 2012.

PROFFIT, M.; BIRGERSSON, G.; BENGTSSON, M. Attraction and Oviposition of *Tuta absoluta* Females in Response to Tomato Leaf Volatiles, **Journal of Chemical Ecology**, v. 37, n. 6, p. 565–574, 2011.

RIBEIRO, T. F. L. **Semioquímicos envolvidos na interação Cana-de-Açúcar x Broca Gigante e Mandioca Percevejo- de- Renda x Mosca-Branca.** 2015. 66f. Dissertação (Mestrado em Química e Biotecnologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 2015.

SANTOS, D. C.; FARIAS, I.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; ARRUDA, G. P.; COELHO, R. S. B.; DIAS, F. M.; MELO, J. N. Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) em Pernambuco. Recife: **IPA**, 33p. (IPA. Documentos, 30), 2006.

SILVA, E. S.; GOMES, I. A.; MELO, L. J.; MEDEIROS, W. P.; MEDEIROS, M. B. Características da palma forrageira *Opuntia* spp. com potencial à resistência à cochonilha do carmim *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae). **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**. v. 7, n. 17, p. 1533-1541, 2020.

SILVA, M. V.; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P.; LIMA, R. P.; SANTOS, A.; JARDIM, A. M. R. F.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. L. B.; BATISTA, P. H. D.; SILVA, R. A. B.; LOPES, P. M. O.; SILVA, D. C. Spatio-temporal monitoring of soil and plant indicators under forage cactus

cultivation by geoprocessing in Brazilian semi-arid region. **Journal of South American Earth Sciences**, V. 107, 2021.

SILVA, R. A.; GUERREIRO, J. C.; MICHELOTTO, M. D.; BUSOLI, A. C. Desenvolvimento e comportamento de predação de *Coccidophilus citricola* Brèthes, 1905 (Coleoptera: Coccinellidae) sobre *Aspidiotus nerii* Bouché, 1833 (Hemiptera: Diaspididae). **Boletín de Sanidad Vegetal Plagas**, v.29, n. 1, p. 9-15, 2003.

SILVA, A. P. O. **Prospecção de produtos naturais para o manejo integrado de *Lasioderma serricornis* (Fabricius, 1972) (Coleoptera: Anobiidae)**. 2017. 156f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2017.

SILVEIRA, T. A. **Interações planta-herbívoro-parasitoide mediadas por voláteis de melão, *Cucumis melo*. L.** 2018. 83f. Tese (Doutorado Biotecnologia RENORBIO) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.

SCHNEE, C.; KOLLNER, T. G.; GERSHENZON, J. "The Maize Gene terpene synthase 1 Encodes a Sesquiterpene Synthase Catalyzing the Formation of (E)-Farnesene, (E)-Nerolidol, and (E, E)-Farnesol after Herbivore Damage". **Society**, v. 130, n. 4, p. 2049–2060, 2002.

SPODEK, M.; BEN-DOV, Y.; MONDACA, L.; PROTASOV, A.; EREL, E.; MENDEL, Z. The cotton mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) in Israel: pest status, host plants and natural enemies. **Phytoparasitica**, v. 46, n. 1, p. 45-55, 2018.

TAHMASEBI, Z.; MOHMMADI, H.; ARIMURA, G. I.; MUROI, A.; KANT, M. R. Herbivore-induced indirect defense across bean cultivars is independent of their degree of direct resistance. **Exp Appl Acarol**, v. 63, n. 2, p. 217-239, 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**, v. 41, n. 9, p. 801–807, 2015.

TAVARES, S. S. **Ecologia Química da Cana-de-açúcar: Caracterização das respostas de defesa em diferentes cultivares de cana-de-açúcar**. 124f. 2016. (Tese de Doutorado) – Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2016.

TENA, A.; NIEVES, E.; HERRERO, J.; URBANEJA, A. Defensive behaviors of the new mealybug citrus pest, *Delottococcus aberiae* (Hemiptera: Pseudococcidae), against three generalist parasitoids. **Journal of Economic Entomology**, v. 111, n. 1, p. 89-95, 2017.

TLAK GAJGER, I.; DAR, S. A. Plant allelochemicals as sources of insecticides. **Insects**, v. 12, n. 3, p. 189-209, 2021.

VAZ, J. C. **Uso da ecologia química para o controle do *Alphitobius diaperinus* na Avicultura**. 2018. 138f. Tese (Biotecnologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.

XIU, C.; WEI, Z.; XU, B.; KRIS, W. Volatiles from aphid-infested plants attract adults of the multicolored Asian lady beetle *Harmonia axyridis*. **Biological Control**, v. 129, p. 1–11, 2019.

CAPÍTULO II

7. Avaliação das concentrações de compostos orgânicos voláteis de palma forrageira em resposta ao recrutamento de inimigos naturais *Coccidophilus citricola* (Brèthes, 1905) (Coleoptera: Coccinellidae) e *Zagreus bimaculosus* (Mulsant, 1850) (Coleoptera: Coccinellidae)

RESUMO

As palmas forrageiras, indispensáveis em regiões de baixa precipitação pluviométrica anual graças a sua resiliência. No entanto, altas infestações populacionais da cochonilha de escama *Diaspis echinocacti* (Bouché, 1833) (Hemiptera: Diaspididae) vem afetando negativamente os cultivos em escala crescente. O manejo dessa praga pode ser através dos insetos *Coccidophilus citricola* e *Zagreus bimaculosus*, agentes-chave no controle biológico. Em vista disso, este trabalho teve como objetivo avaliar diferentes concentrações dos compostos nonanal, linalol, tetradecano e β -ocimeno por meio de bioensaios comportamentais, além de testar uma formulação em campo para verificar as respostas atrativas dos insetos frente ao efeito sinérgico. Para isso, foi realizada a curva de concentração de padrão interno para a quantificação dos compostos, a realização de bioensaios comportamentais em olfatômetro do tipo Y e de quatro braços. Em seguida, o experimento de campo foi conduzido em uma área com variedade de palma forrageira miúda *Nopalea cochenillifera* sadia e infestada por *D. echinocacti* no município de Livramento, PB. As concentrações provenientes da curva de quantificação 27,76; 24,96; 22,76 e 13,59 $\text{ng}\mu\text{L}^{-1}$ para os compostos nonanal, linalol, tetradecano e (*E*)- β -ocimeno, respectivamente. Os resultados dos bioensaios comportamentais com os inimigos naturais *C. citricola* e *Z. bimaculosus* em olfatômetro do tipo Y indicaram resultados significativos para todos os compostos analisados, sendo somente o tetradecano não significativo para o teste de atratividade do *C. citricola* em olfatômetro de quatro braços. No teste de captura em campo em área com cultivo da variedade de palma forrageira (miúda ou doce) - *Nopalea cochenillifera*, o tratamento com a formulação combinada dos quatro compostos expressou potencial de recrutamento, proporcionando maior atratividade dos inimigos naturais estudados em relação aos tratamentos isolados, em área infestada pela cochonilha de escama *D. echinocacti*. Com isso, a formulação pode se tornar uma promissora alternativa no controle biológico dessa praga.

Palavras-chave: efeito sinérgico, controle biológico, *Diaspis echinocacti*.

8.1. INTRODUÇÃO

Os gêneros (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) de palma forrageira são cultivados em regiões áridas e semiáridas globalmente, devido às suas características fisiológicas no que diz respeito à perda, absorção, e aproveitamento da água, com os estômatos abertos durante o período noturno e fechados no diurno, o que lhe proporciona desenvolvimento nessas áreas. No Nordeste brasileiro tal cultura encontrou condições climáticas e ambientais propícias para a sua implantação, através de plantios convencionais e adensados, contribuindo para o progresso socioeconômico da região (SOARES et al., 2021; MALES; GRIFFITHS, 2017).

Contudo, a cultura, sofre com ataque severo de pragas agrícolas, como a cochonilha *Dactylopius Opuntiae* (Cockerell, 1896) (Dactylopiidae) do carmim, e com ênfase para a *Diaspis echinocacti* (Bouché, 1833) denominada de escama, as quais sem medidas de controle podem erradicar cultivos (SANTOS et al., 2023).

Assim, plantas resistentes e inimigos naturais são utilizados para suprimir o crescimento populacional de insetos-praga em culturas agrícolas, de maneira a empregar o método de manejo integrado de pragas, o qual auxiliará com a tática de controle biológico, que realiza a liberação de predadores, parasitoides, e microrganismos como fungos, vírus e bactérias, em áreas de plantio acometidos por doenças e pragas, os quais podem ser utilizados em cultivos anuais ou bianuais para controle rápido da praga, sendo denominada de forma inundativa, já para o controle que necessita de uma aplicação mais longa, faz-se uso da técnica inoculativa, com um número reduzido de insetos (GRAVENA, 1992; PARRA, 2014).

Os insetos intitulados de joaninhas que pertencem a família Coccinellidae, são empregues como inimigos naturais eficazes no controle biológico de insetos-praga, à vista que são organismos benéficos encontrados nos mais diversos cultivos agrícolas, englobando culturas anuais, perenes e áreas de flora autóctone, que através de sinais ópticos e químicos encontram os insetos para a sua alimentação

Ao logo do seu ciclo de vida, atuam predando de modo eficiente inúmeras pragas agrícolas, como psílideos, afídeos, ácaros e cochonilhas. Sendo assim, um importante agente de controle biológico da cochonilha de escama *D. echinocacti*, contribuindo para uma produção agrícola sustentável (GIORGI et al., 2009).

Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar como diferentes concentrações de compostos, em suas formas isoladas quanto em formulação, influenciam nas respostas comportamentais dos inimigos naturais durante o processo de recrutamento.

8.2. MATERIAL E MÉTODOS

8.2.1. Quantificação dos compostos

O padrão do composto nonanal foi utilizado em concentrações variadas (5, 25, 50, 75, 100 ng.µL⁻¹), em seguida foi obtida a curva de calibração mediante a relação da concentração do padrão versus as áreas dos respectivos sinais. A quantificação dos compostos existentes nos extratos das plantas, seguiu o método de cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG-EM), com coluna capilar DB-5 (30 m x 0,25 mm D. I. x0,25 µm de filme) no modo auto injetor com uma alíquota de 1 µL, de acordo com os critérios para as análises dos extratos obtidos das aerações de plantas sadias e infestadas por *Diaspis echinocacti* durante o período de 24 horas. Com a equação linear adquirida com a curva de calibração do padrão nonanal, processou-se a quantificação dos compostos dos extratos.

8.2.2. Bioensaios comportamentais em olfatômetro em Y

Com base nas concentrações dos compostos nonanal, linalol, tetradecano e β-ocimeno, foi utilizado o hexano grau HPLC como tratamento controle, para a realização dos testes de recrutamento em olfatômetro em Y (25 cm x 2,5 cm de diâmetro) com adultos dos inimigos naturais *C. citricola* e *Z. bimaculosus* sem realização de dimorfismo sexual, empregando oito concentrações para cada composto, interessado em indicar o nível de respostas dos insetos as concentrações. O fluxo de ar filtrado (250 mL/min), mesurado por um registro de vazão, filtrado por carvão ativado em ambos os braços. Os insetos ao longo de 30 minutos permaneceram no recinto dos testes comportamentais para aclimação (27 ± 1 °C, 70 ± 10% UR).

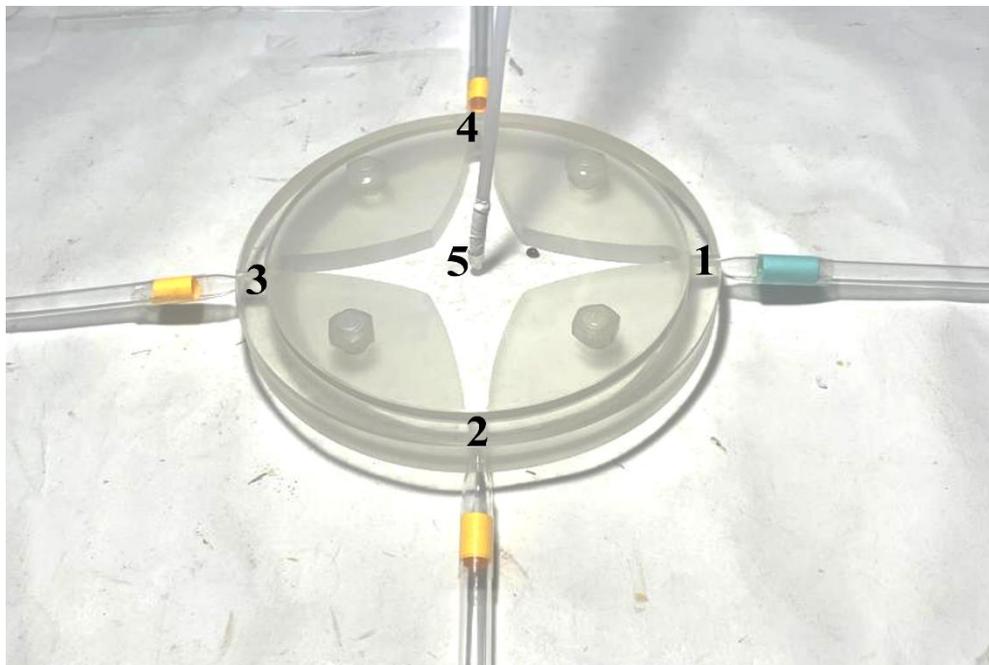
8.2.3. Bioensaios comportamentais em olfatômetro de 4 braços

O olfatômetro de quatro braços foi utilizado para testar a resposta comportamental dos inimigos naturais *Coccidophilus citricola* e *Zagreus bimaculosus* às concentrações dos compostos nonanal, linalol, tetradecano, e β-ocimeno, mantendo-se uma temperatura de 28°C ± 2°C e iluminação uniforme difusa (UKEH *et al.*, 2009; VET *et al.*, 1983; PETTERSSON, 1970). A estrutura do olfatômetro consistia em uma câmara de três camadas uma acima da outra, assemelhando-se a uma estrela, com quatro orifícios em cada extremidade. Para a locomoção do inseto foi utilizado na base um papel filtro (Whatman, nº1). Cada orifício foi

utilizado para fixar um tubo de vidro com o tratamento e o controle, fazendo uso de insetos adultos em cada bioensaio (Figura 12).

Conforme metodologia para testar atratividade caracterizada por “Chemical Ecology Training Manual” (Rothamsted Research) em um braço da câmara foi inserido o tratamento, enquanto os outros três continham o controle. Na área superior da câmara por meio de um orifício o ar era retirando de cada braço do olfatômetro em um fluxo de $380 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$, refletindo em $90 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$. Para cada teste, foi utilizado um novo.

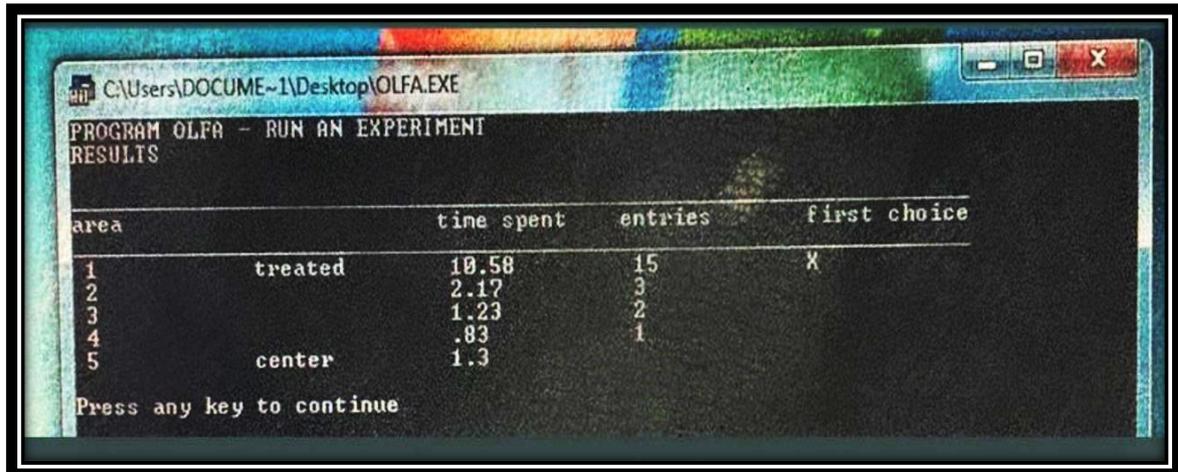
Figura 12 - Olfatômetro de 4 braços. (1) braço com o tratamento; (2), (3) e (4) braços com o controle; (5) área central



Fonte: O autor (2024).

No centro do olfatômetro foi inserido adultos de cada espécie de *C. citricola* e *Z. bimaculosus* compreendendo um tempo de 2 minutos para aclimação do predador na estrutura. Durante o período de 16 minutos o posicionamento do inseto era registrado, anotando-se o número de entradas em cada braço e o tempo de permanência, no software OLFA (Exeter Software, USA) (Figura 13).

Figura 13 - Respostas do inseto provenientes do software OLFA pós bioensaio



The screenshot shows a terminal window titled 'C:\Users\DOCUME~1\Desktop\OLFA.EXE' with the text 'PROGRAM OLFA - RUN AN EXPERIMENT RESULTS'. Below this is a table with four columns: 'area', 'time spent', 'entries', and 'first choice'. The table contains five rows of data. The first row is for 'area 1' (treated) with a time spent of 10.58, 15 entries, and a first choice of 'X'. The second row is for 'area 2' with a time spent of 2.17 and 3 entries. The third row is for 'area 3' with a time spent of 1.23 and 2 entries. The fourth row is for 'area 4' with a time spent of .83 and 1 entry. The fifth row is for 'area 5' (center) with a time spent of 1.3. At the bottom of the window, it says 'Press any key to continue'.

area		time spent	entries	first choice
1	treated	10.58	15	X
2		2.17	3	
3		1.23	2	
4		.83	1	
5	center	1.3		

Fonte: O autor (2024).

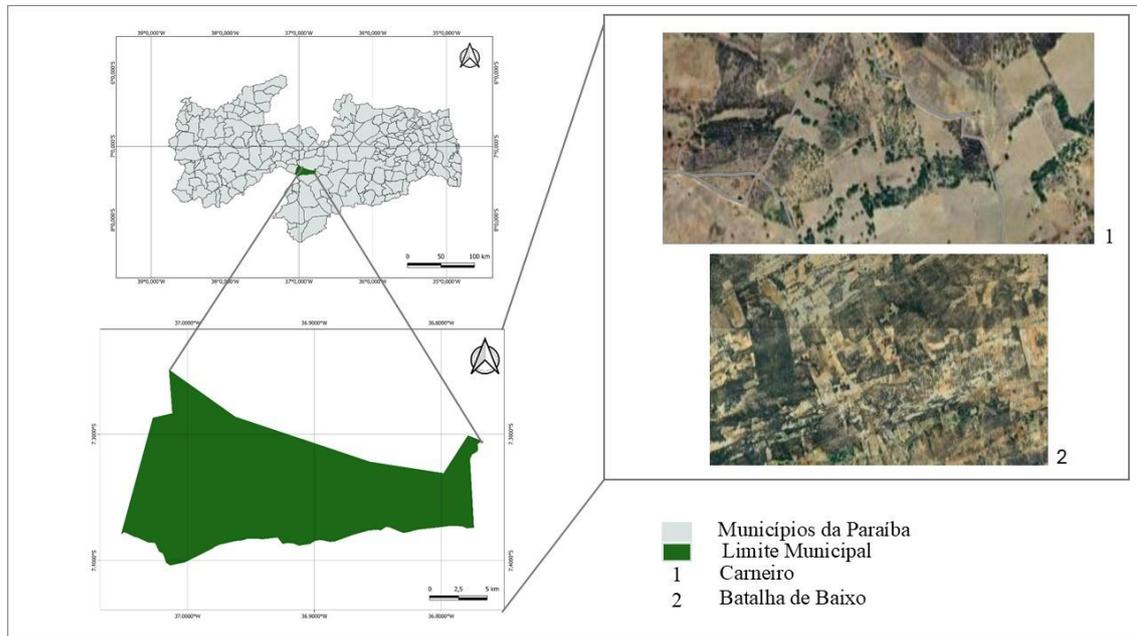
Foram realizadas 60 repetições (60 insetos) nos testes de bioensaio. Os insetos que, durante os 2 primeiros minutos, mostravam-se inativos com menos de três entradas eram substituídos, sendo a estrutura girada no sentido horário de 90° a cada quatro minutos, para evitar que o inseto desenvolvesse qualquer vício de posição. Os compostos nonanal, linalol, tetradecano, e β -ocimeno foram testados nas concentrações de 27,76; 24,96; 22,76 e 13,59 $\text{ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, respectivamente, para avaliar a influência desses compostos na atratividade dos inimigos naturais.

8.3. Teste de campo

8.3.1. Local

O experimento foi conduzido no município de Livramento, localizado no Estado da Paraíba, durante o período de 7 a 21 de outubro de 2024, na zona rural, apresentando uma temperatura média de 32 °C, e umidade relativa de 57%. O trabalho foi realizado em duas propriedades rurais, ambas com uma área de cultivo de palma forrageira de 2.500 m², adotando um espaçamento de 1,5 metro entre fileiras e 0,5 metro entre plantas, totalizando 3.333 plantas da variedade (miúda ou doce) - *Nopalea cochenillifera*, compreendendo tanto uma área sadia quanto infestada pela cochonilha de escama *D. echinocacti* (Figura 14).

Figura 14 - Localização geográfica das áreas de instalação das armadilhas nas comunidades rurais de Carneiro e Batalha de Baixo, no município de Livramento, PB



Fonte: O autor (2025).

8.3.2. Montagem das armadilhas

As armadilhas foram confeccionadas, sendo compostas por um recipiente de vidro, com altura de 5 centímetros e 4 de diâmetro, aparelhada de um funil, as quais continham um septo de borracha (Figura 15). O delineamento experimental para verificar a atratividade dos inimigos naturais adultos *Coccidophilus citricola* e *Zagreus bimaculosus* foi o de blocos casualizados, com cinco tratamentos e cinco repetições. O tratamento controle (T0) foi constituído pelo solvente hexano. O tratamento T1 compreendia o composto nonanal, ao mesmo tempo que o T2 foi preparado por linalol. O T3 empregou tetradecano, e o T4, β -ocimeno. Por último, o tratamento T5 compôs-se da mistura dos compostos nonanal, linalol, tetradecano, e β -ocimeno. As armadilhas foram suspensas ao longo das plantas por um fio de aço, a uma altura de 90 cm do solo, com uma distância de 3 metros entre as armadilhas.

Os monitoramentos foram realizados a cada 24 horas, realizando a contagem do número de insetos adultos ao longo do período de quinze dias, sendo a troca dos tratamentos realizada a cada cinco dias.

Figura 15 - Armadilhas utilizadas no teste em campo para a captura dos inimigos naturais *C. citricola* e *Zagreus bimaculosus*



Fonte: O autor (2024).

8.4. Análise estatística

Os resultados referentes ao tempo de permanência e ao número de entradas dos insetos nos braços do olfatômetro de quatro braços foram analisados quanto à normalidade de distribuição a 5% de probabilidade, utilizando o teste Tukey, através da análise de variância (ANOVA), com o auxílio do software SAEG®. Para os dados obtidos em olfatômetro em Y foram analisados por meio do teste de hipóteses qui-quadrado, levando em conta um nível de significância de $p < 0,05$.

Os dados relativos ao teste de campo, tiveram as diferenças significativas entre as médias comparadas pelo teste de Tukey a um nível de significância de 5%, com as análises realizada no software RStudio, e elaboração dos gráficos pelo SigmaPlot v15.0.

9. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variedades de palma forrageira, sadias e infestadas pela cochonilha de escama *Diaspis echinocacti* (Bouché, 1833) (Hemiptera: Diaspididae), emitiram entre seus compostos orgânicos voláteis, o aldeído nonanal. Com a emissão desse composto foi realizada a curva de calibração para a quantificação do composto através do padrão interno que resultou em ($R^2 = 0,9715$), foram observadas concentrações em $\text{ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$ diferentes para os compostos (Tabela 8),

sendo o nonanal com a maior concentração (27,76 ng.µL⁻¹), enquanto, o β-ocimeno apresentou a menor concentração (13,59 ng.µL⁻¹), em relação aos demais compostos.

Tabela 8 - Compostos com concentração calculada através da curva de calibração com padrão interno nonanal

Nº	Compostos	Concentração (ng.µL ⁻¹)
1	Nonanal	27,76
2	Linalol	24,96
3	Tetradecano	22,76
4	β-ocimeno	13,59

Fonte: O autor (2024).

Os compostos apresentados diferem em suas concentrações, os quais são capazes de relacionar-se entre si ou em mistura, apresentando propriedades que podem ser utilizadas no controle de herbívoros. O composto β-Ocimeno apresenta, entre suas funções, a comunicação entre inseto-planta, exercendo a atratividade de inimigos naturais. Sendo assim, o β-Ocimeno e o linalol mesmo em baixas concentrações, encarregam-se de resultados significativos na atração de predadores (FARRÉ-ARMENGOL *et al.*, 2017). Pesquisas indicam que o composto tetradecano e o nonanal são aliados naturais na defesa das plantas contra o ataque de insetos herbívoros, recrutando inimigos naturais para o controle biológico de pragas (YU *et al.*, 2008).

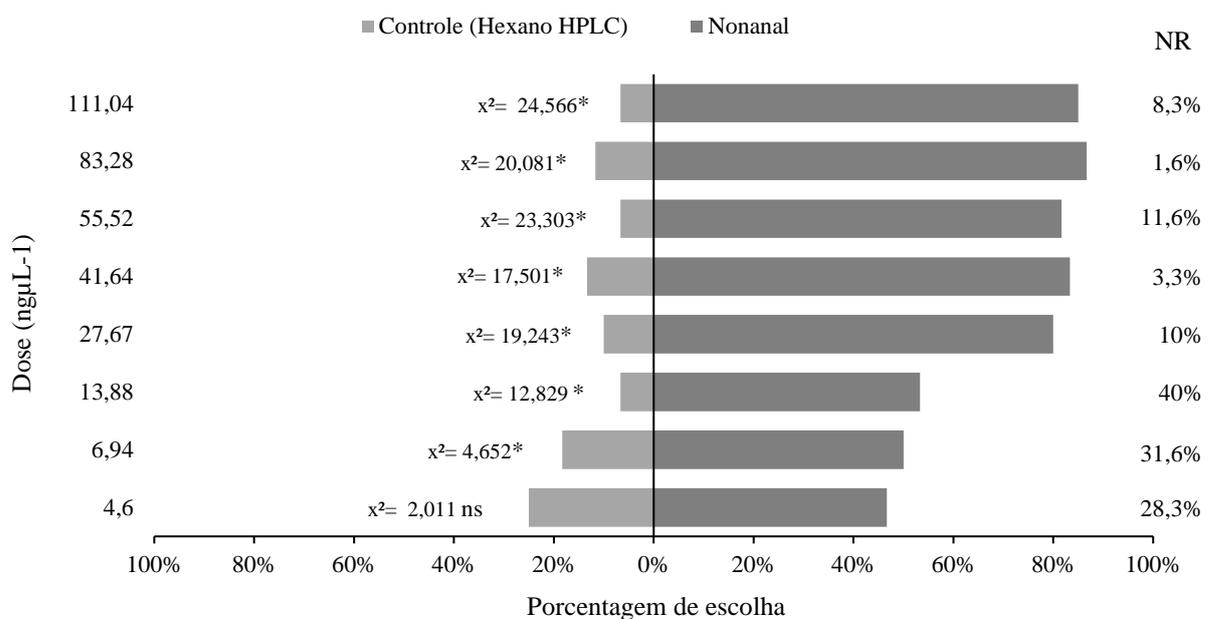
9.1. Bioensaios comportamentais no recrutamento de *Coccidophilus citricola* e *Zagreus bimaculosus* induzido por compostos voláteis nonanal, linalol, tetradecano e β-ocimeno

Foi observado diferenças significativas nos resultados dos bioensaios comportamentais em olfatômetro em Y para as diferentes concentrações de compostos voláteis testados com os inimigos naturais *C. citricola* e *Zagreus bimaculosus*. O composto nonanal foi testado em oito concentrações distintas. A menor dose, de 4,6 ng.µL⁻¹, mostrou-se não significativa, enquanto com o aumento das demais doses os resultados foram significativos, com diminuição da porcentagem de insetos que não apresentaram resposta, evidenciando o recrutamento do inseto *Zagreus bimaculosus* pelo composto. A concentração de 83,28 ng.µL⁻¹ foi a que apresentou a menor porcentagem de 1,6% de insetos que não responderam ao teste, à medida que a concentração de 13,88 ng.µL⁻¹, mesmo mostrando-se significativa, exibiu a maior porcentagem de 40% de insetos não respondentes.

Sendo da classe dos aldeídos, o composto nonanal trata-se de um volátil estimulado pelo ataque de insetos herbívoros à planta, tendo potencial para atuar na repelência ou no recrutamento de inimigos naturais.

Segundo Sobhy *et al.* (2018), na cultura do feijão-caupi, observou-se a emissão de nonanal como resposta de defesa da planta ao ataque de lagartas, constituindo-se de fundamental importância nas respostas de recrutamento dos parasitoides *Cotesia plutellae* Kurdjumov (Hymenoptera: Braconidae) e *Bracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae), os quais são responsáveis por atuar como agentes de controle biológico da traça-das-crucíferas e traça-da-farinha, respectivamente.

Figura 16 - Comportamento do inimigo natural *Zagreus bimaculosus* em resposta às concentrações do composto nonanal, expressas em $\text{ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, avaliado com um total de 40 insetos por teste



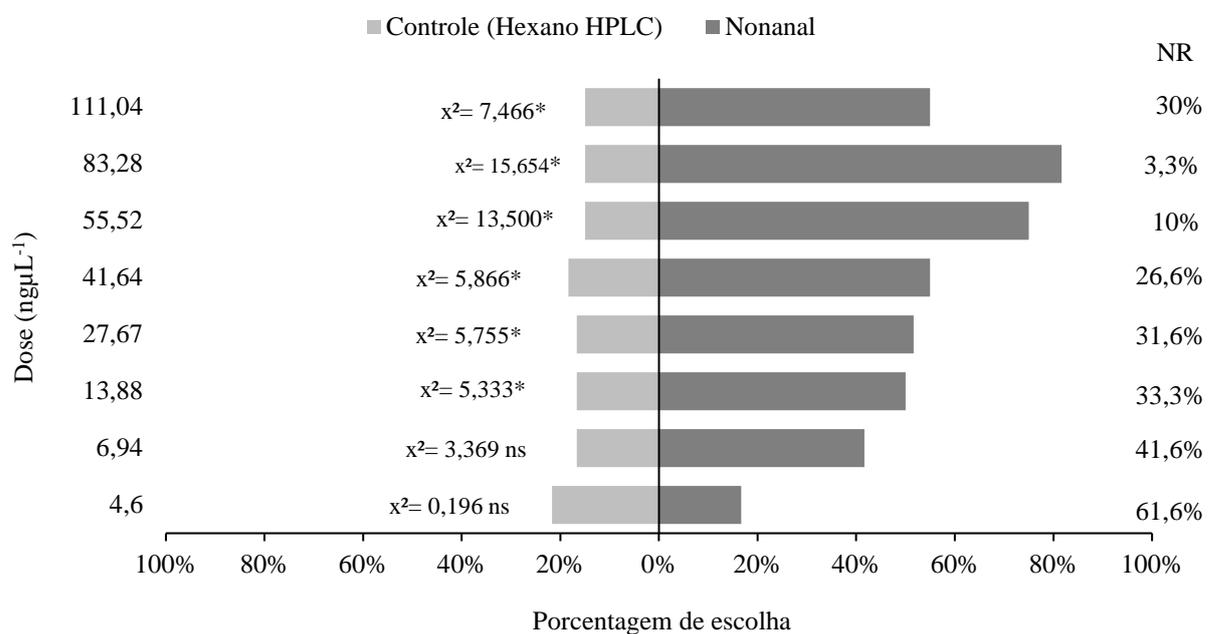
*Significativo estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste do qui-quadrado. NR- Não respondentes

Fonte: O autor (2023).

O teste de recrutamento para o inseto *C. citricola* mostrou-se respostas significativas a partir da dose $13,88 \text{ ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, à medida que intensificaram-se as respostas conforme as doses aumentaram até $111,04 \text{ ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$. Contudo, as concentrações de $55,52 \text{ ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$ e $83,28 \text{ ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$ foram as que tiveram as maiores respostas dos insetos. Com a diminuição da concentração do composto nonanal para $6,94 \text{ ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$ e $4,6 \text{ ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, foi observado uma porcentagem de 41,6% e 61,6%, respectivamente, de insetos que não reagiram ao teste no olfátômetro em Y, encaminhando-se a resultados não significativos.

O inseto conhecido como psilídeo-dos-citros *Diaphorina citri* Kuwayama, 1908 (Hemiptera: Liviidae) em testes eletrofisiológicos expôs baixas respostas ao composto nonanal quando este foi disponibilizado em pequenas doses, contudo, em altas concentrações, observou-se respostas significativas, sendo a classe dos aldeídos com o maior número de respostas por parte desse inseto (COUTINHO-ABREU *et al.*, 2014).

Figura 17 - Comportamento do inimigo natural *Coccidophilus citricola* em resposta às concentrações do composto nonanal, expressas em $\text{ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, avaliado com um total de 40 insetos por teste



*Significativo estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste do qui-quadrado. NR- Não respondentes

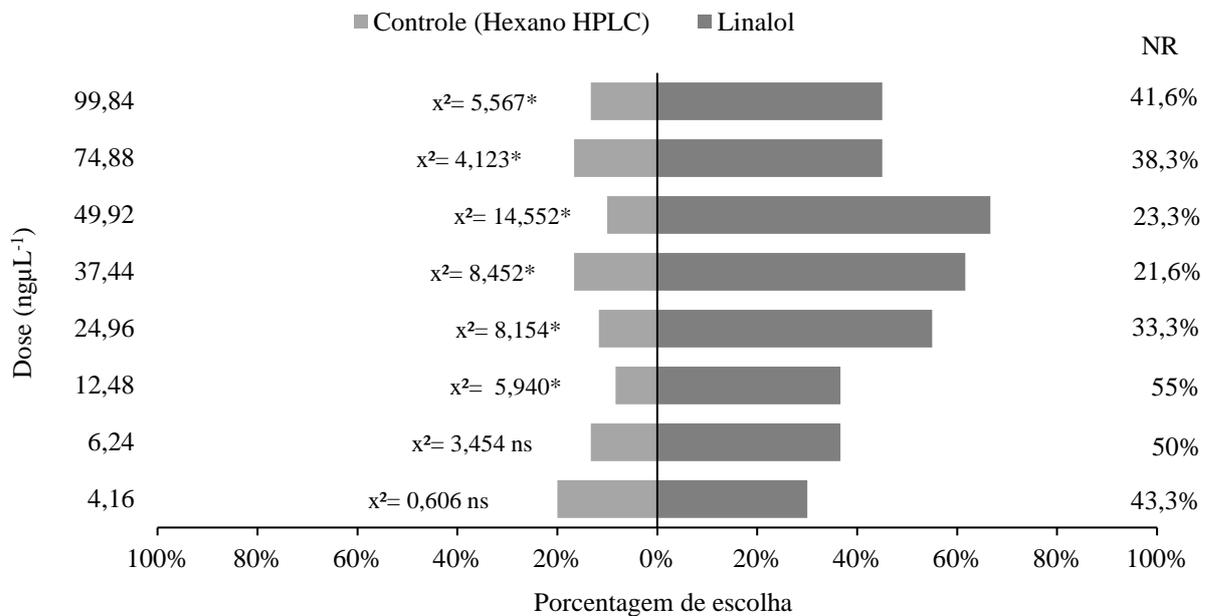
Fonte: O autor (2023).

A dose de $12,48 \text{ ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$ do composto linalol exibiu resultado significativo para o teste de recrutamento do inimigo natural *Z. bimaculosus*, porém com a maior porcentagem de 55% de insetos não respondentes ao recrutamento. Com o aumento das doses observou-se respostas significativas do inseto, no entanto, ocorre um acréscimo no número de insetos que não completaram a avaliação, equiparando as menores doses do composto de $6,24 \text{ ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$ e $4,16 \text{ ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, que, embora não significativas, mostraram-se com elevadas porcentagens de insetos que não responderam ao teste, sendo 50% e 43,3%, respectivamente.

O composto linalol contribui para assessorar insetos que agem como inimigos naturais, visto que, plantas de soja infestadas por *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae) realizaram a sua emissão, sendo uma resposta defensiva da planta ao recrutamento

de parasitoides e/ou insetos predadores, em consequência da ação da herbivoria ((ROSTÁS; EGGERT, 2008).

Figura 18 - Comportamento do inimigo natural *Zagreus bimaculosus* em resposta às concentrações do composto linalol, expressas em $\text{ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, avaliado com um total de 40 insetos por teste



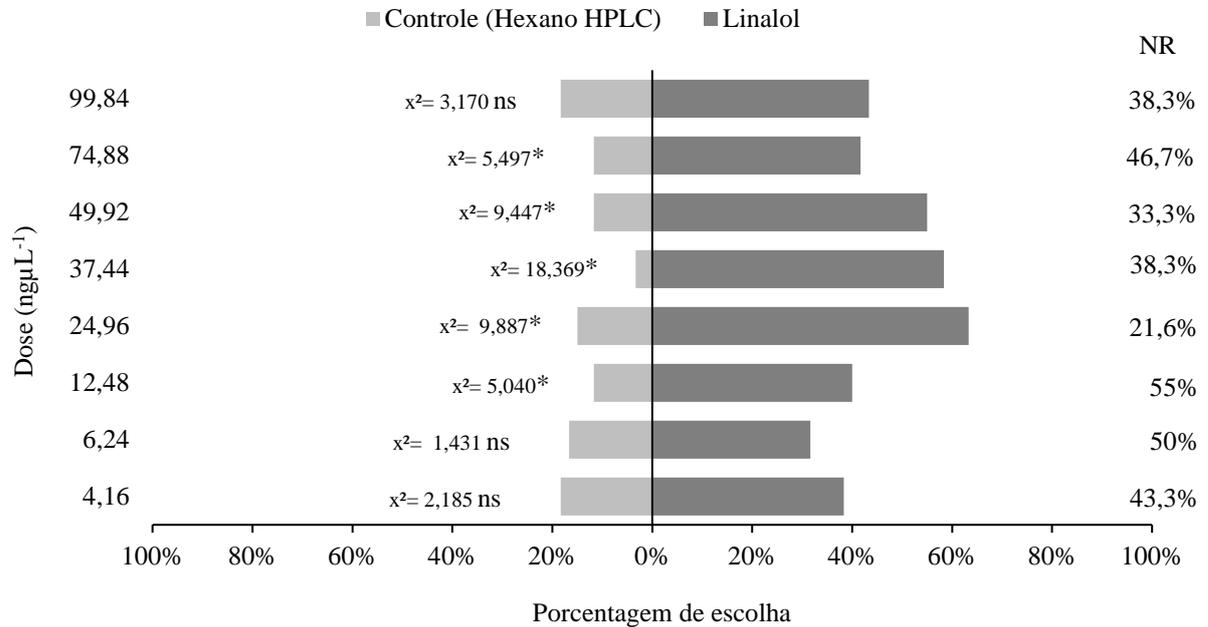
*Significativo estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste do qui-quadrado. NR- Não respondentes

Fonte: O autor (2023).

Das oito doses avaliadas do composto linalol, no teste de recrutamento do inimigo natural *C. citricola*, cinco mostraram resultados significativos, no entanto, a dose máxima de $99,84 \text{ ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$ expôs resultado não significativo, evidenciando que o composto se encontra em alta concentração, resultando na saturação da antena do inseto, impossibilitando a detecção da substância química, dessa forma, ocasionando a não resposta ao recrutamento do predador.

Os insetos da ordem dos coleópteros, que apresenta como um dos seus integrantes a joaninha predadora *C. citricola*, tem como atraente o composto linalol, que apresenta emissão a começar do período de 24 horas do ataque da praga, sendo capaz de colaborar para o recrutamento de inimigos naturais, como indicado na literatura (ALTUZAR *et al.*, 2007; SUN *et al.*, 2010; WAR *et al.*, 2011).

Figura 19 - Comportamento do inimigo natural *Coccidophilus citricola* em resposta às concentrações do composto linalol, expressas em $\text{ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, avaliado com um total de 40 insetos por teste



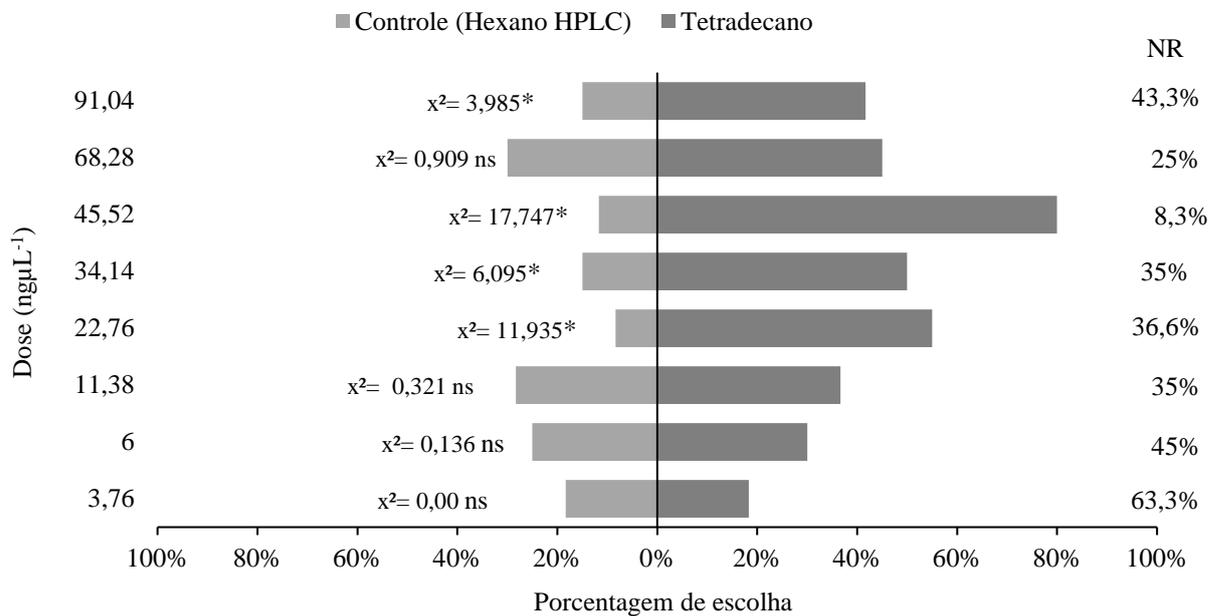
*Significativo estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste do qui-quadrado. NR- Não respondentes

Fonte: O autor (2023).

O composto tetradecano, na dose de $45,52 \text{ ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, apresentou resultado significativo para o recrutamento da joaninha predadora *Z. bimaculosus*, além do número de insetos que não responderam a amostra ter sido apenas de 8,3%, demonstrando a preferência do inseto por essa concentração, quando comparado com as demais, que indicaram um número elevado de insetos que não responderam ao teste.

A emissão do composto químico orgânico tetradecano, pertencente a classe dos hidrocarbonetos, apresenta como função a defesa contra o percevejo *Dichelops melacanthus* Dallas (Hemiptera: Pentatomidae), por meio da utilização do método de controle biológico, que faz uso de organismos vivos, como inimigos naturais e parasitoides, os quais são responsáveis pela redução e manejo populacional deste inseto, contribuindo assim, com o equilíbrio ecológico (MARQUES *et al.*, 2007).

Figura 20 - Comportamento do inimigo natural *Zagreus bimaculosus* em resposta às concentrações do composto tetradecano, expressas em $\text{ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, avaliado com um total de 40 insetos por teste



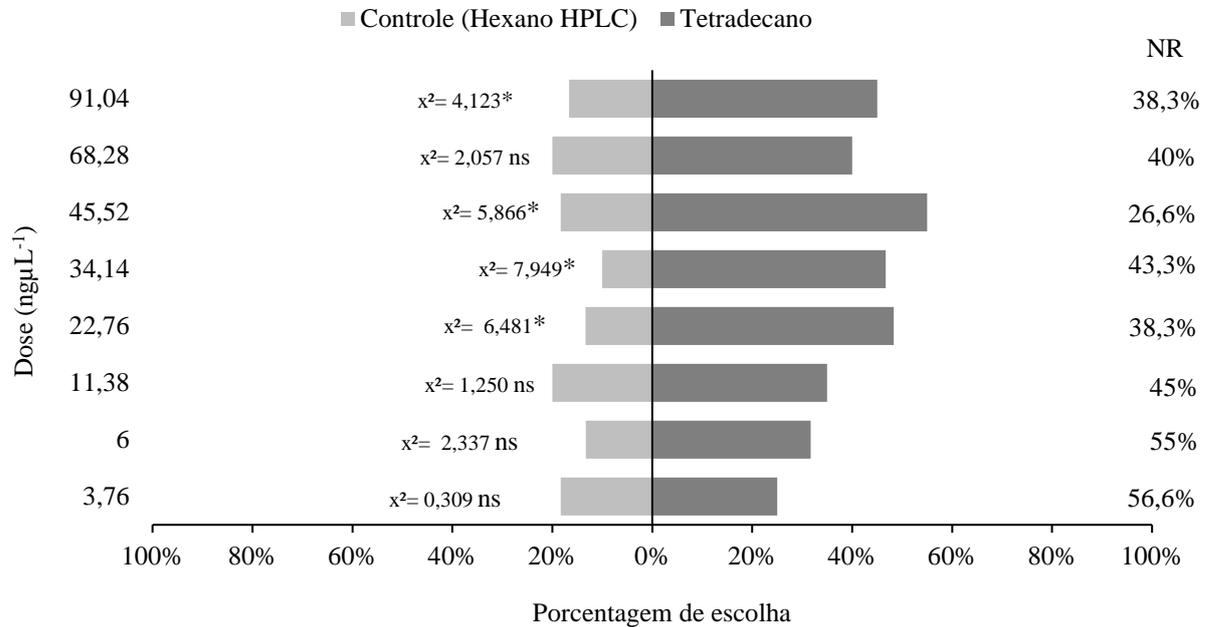
*Significativo estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste do qui-quadrado. NR- Não respondentes

Fonte: O autor (2023).

Foi observado durante o teste de recrutamento para o *C. citricola*, avaliando oito doses do composto tetradecano, que somente as doses de $22,76 \text{ ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, $34,14 \text{ ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, $45,52 \text{ ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$ e $91,04 \text{ ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$ apresentaram respostas significativas. Porém, com uma porcentagem elevada de insetos não respondentes.

O tetradecano está habitualmente relacionado a comunicação química de insetos, consistindo em um composto orgânico volátil que pode atuar no recrutamento de outras espécies, até mesmo de insetos que desempenham a função de inimigos naturais, resultando em um volátil essencial para as respostas olfativas de insetos, como a joaninha predadora da cochonilha de escama *C. citricola* (MORAWO *et al.*, 2017).

Figura 21 - Comportamento do inimigo natural *Coccidophilus citricola* em resposta às concentrações do composto tetradecano, expressas em $\text{ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, avaliado com um total de 40 insetos por teste



*Significativo estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste do qui-quadrado. NR- Não respondentes

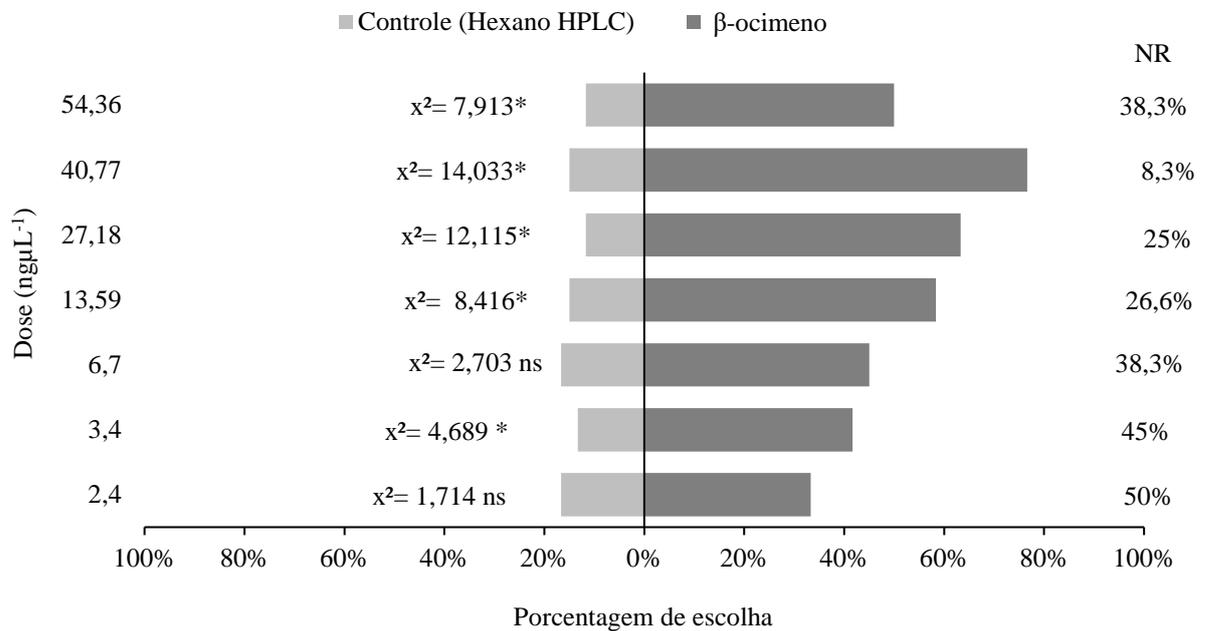
Fonte: O autor (2023).

A joaninha *Z. bimaculosus* apresentou preferência pela dose de $40,77 \text{ ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$ do composto β -ocimeno, registrando a menor porcentagem de insetos que não responderam ao teste de recrutamento, correspondendo a 8,3%, enquanto, a dose mais baixa de $2,4 \text{ ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, não acarretou resultado significativo para o teste, indicando a maior porcentagem de insetos sem resposta (50%).

O composto β -ocimeno é capaz de atuar como uma sugestão química no recrutamento de predadores e parasitoides de insetos que atacam plantas, sendo responsável por estimular as interações planta-inseto, no que diz respeito as respostas de defesa da planta (KANG *et al.*, 2018).

A joaninha de dois-pontos, *Adalia bipunctata* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera: Coccinellidae), mostrou resultados significativos ao recrutamento em direção ao composto β -ocimeno, assim como os ácaros predadores, constatando a eficiência desse composto no manejo e controle de pragas agrícolas (ARIMURA *et al.*, 2009; ISHIWARI *et al.*, 2007).

Figura 22 - Comportamento do inimigo natural *Zagreus bimaculosus* em resposta às concentrações do composto β -ocimeno, expressas em $\text{ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, avaliado com um total de 40 insetos por teste



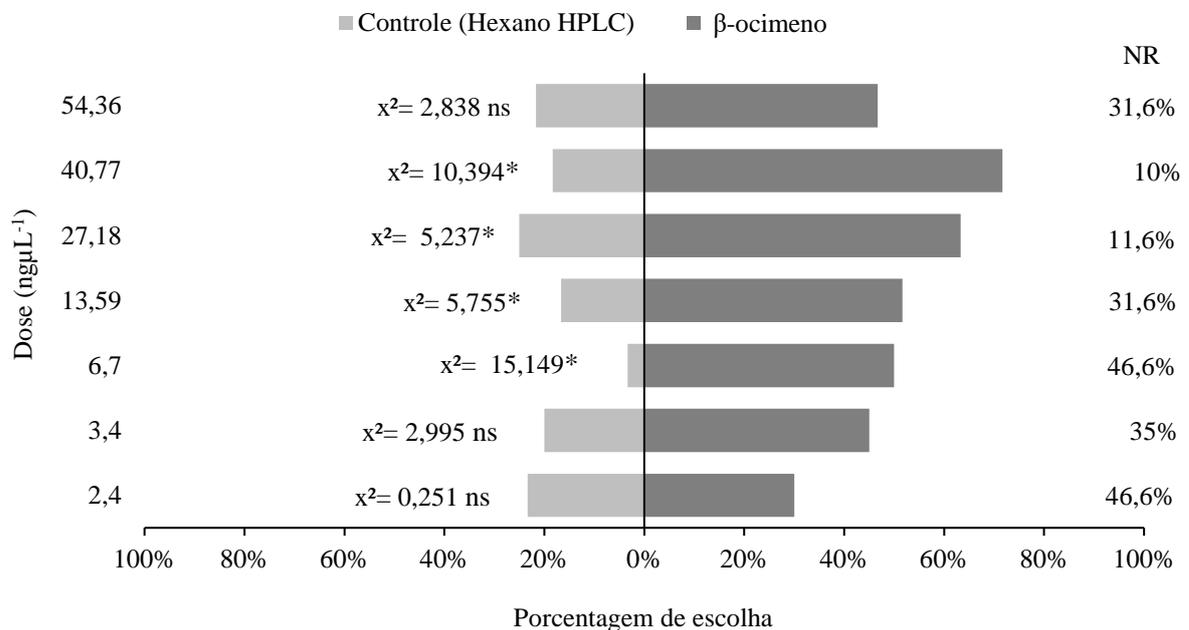
*Significativo estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste do qui-quadrado. NR- Não respondentes

Fonte: O autor (2023).

O teste de recrutamento para o inimigo natural *C. citricola* indicou que a dose de $40,77 \text{ ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$ foi a preferida pelo inseto, e com a menor porcentagem de insetos não respondentes (10%). Contudo, a dose mais alta, de $54,36 \text{ ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, foi não significativa e com uma elevada taxa de insetos que não optaram a testemunha e ao tratamento (31,6%).

A emissão do monoterpene acíclico β -ocimeno por plantas é capaz de contribuir com a resistência de plantas próximas, proporcionando respostas de defesa indireta imediatas, favorecendo que o ambiente fique mais resistente ao ataque de pragas e assessorando no recrutamento de inimigos naturais logo após a herbivoria, com a diminuição dos seus efeitos negativos (THOMPSON *et al.*, 2023).

Figura 23 - Comportamento do inimigo natural *Coccidophilus citricola* em resposta às concentrações do composto β -ocimeno, expressas em $\text{ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, avaliado com um total de 40 insetos por teste



*Significativo estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste do qui-quadrado. NR- Não respondentes

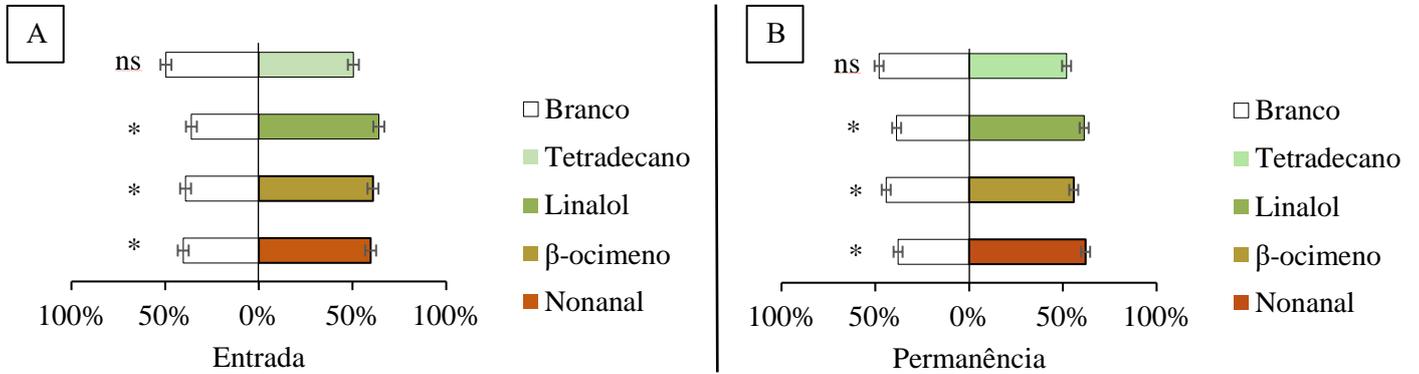
Fonte: O autor (2023).

Os bioensaios comportamentais em olfatômetro de quatro braços (Figura 24) foram efetuados com os compostos tetradecano, linalol, β -ocimeno e nonanal, respectivamente nas concentrações de $22,76 \text{ ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, $24,96 \text{ ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, $13,59 \text{ ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$ e $27,76 \text{ ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$, apresentaram resultado não significativo apenas para o composto tetradecano, tanto em relação ao número de entradas no braço do tratamento quanto ao tempo de permanência do inimigo natural *C. citricola*, enquanto para os demais compostos os resultados foram significativos.

O braço com o tratamento linalol apresentou o maior tempo médio de permanência do inseto, com 10,5 minutos, à medida que o braço com tetradecano resultou no menor tempo, de 3,32 minutos. Os compostos β -ocimeno e nonanal permaneceram no braço com o tratamento uma média de 6,7 e 8,3 minutos, respectivamente.

As diferentes concentrações dos compostos sintéticos são fundamentais para estabelecer o nível de seletividade as respostas comportamentais dos inimigos naturais aos semioquímicos, os quais são realizados através de bioensaios comportamentais para cada organismo-alvo, após a identificação e confirmação com padrões sintéticos (SERDO, 2024).

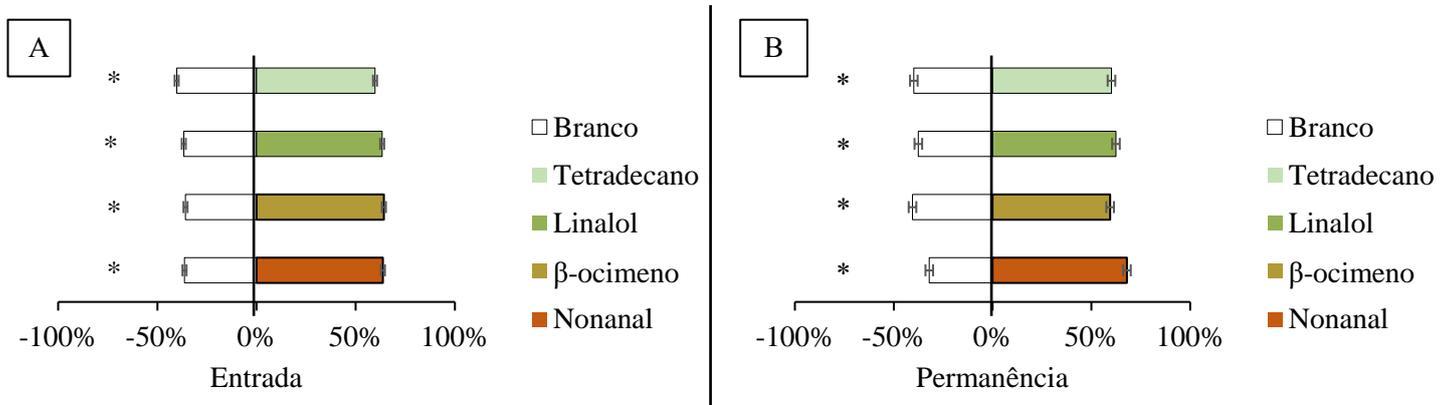
Figura 24 - Avaliação do comportamento do inimigo natural *C. citricola* em concentrações de tetradecano, linalol, β -ocimeno e nonanal em olfatômetro de quatro braços, A) Número de entradas e B) Tempo de permanência



Fonte: O autor (2024).

O inimigo natural *Z. bimaculosus* para os testes de recrutamento apresentou resultados significativos para as concentrações dos quatro compostos sintéticos, em ambos os tratamentos de número de entradas e tempo de permanência. Os braços com os tratamentos de tetradecano, linalol, β -ocimeno e nonanal expuseram em tempos de permanência de 8,89; 9,09; 8,18; e 9,86 minutos, respectivamente.

Figura 25 - Avaliação do comportamento do inimigo natural *Z. bimaculosus* em concentrações de tetradecano, linalol, β -ocimeno e nonanal em olfatômetro de quatro braços, A) Número de entradas e B) Tempo de permanência



Fonte: O autor (2024).

O composto β -ocimeno é um importante atraente do parasitoide *Cotesia sesamiae* (Cameron) (Hymenoptera: Braconidae) para o controle biológico da broca do caule de cereais *Chilo partellus* (Swinhoe, 1885) (Lepidoptera: Crambidae) (KHAN *et al.*, 2016). Em um teste de recrutamento realizado em túnel de vento, as fêmeas da espécie de vespa parasitóide *Aphidius ervi* (Haliday) (Hymenoptera: Braconidae) foram atraídas pelo composto linalol, com a função de controlar *Acyrtosiphon pisum* Harris (Hemiptera: Aphididae) nas plantações de fava infestadas (TAKEMOTO; TAKABAYASHI, 2015). Nas respostas comportamentais ao inimigo natural *Trichogramma dendrolimi* Matsumura (Hymenoptera: Trichogrammatidae), os compostos tetradecano e nonanal expressaram resultados significativos de atração (ZHAO *et al.*, 2022).

9.2. Teste de campo

A pesquisa de campo conduzida em uma área infestada com a cochonilha de escama *D. echinocacti* expôs que o tratamento com a formulação dos compostos testados decorreu em maior número de insetos capturados, consistindo estatisticamente maior eficácia em relação aos demais tratamentos, indicando provável efeito sinérgico. Os compostos individuais, nonanal e beta-ocimeno, da mesma forma apresentaram resultados de atratividade, porém com uma intensidade inferior. Já o tratamento controle, expressou baixíssimos índices de captura, evidenciando a atividade específica dos compostos orgânicos voláteis ao comportamento do inimigo natural *C. citricola*.

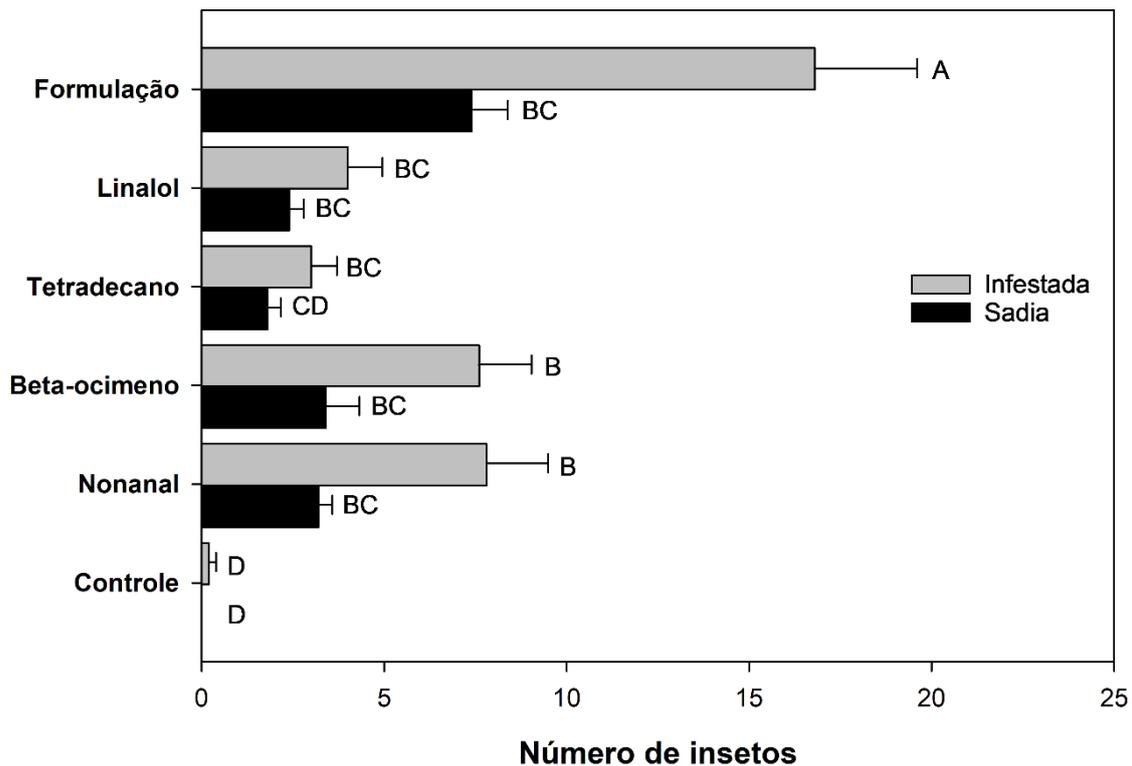
A análise da área de palma forrageira sadia aponta que a formulação utilizada manifesta resultados significativos para as capturas registradas, indicando compostos responsáveis pela atração dos insetos. Contudo, com um número significativamente reduzido de insetos capturados em comparação à área infestada, sugerindo um diferença na interação química entre inseto-planta.

A comunicação química é um fator essencial nas interações inseto-planta, sendo responsáveis por funções como atratividade e defesa contra herbívoros, por meio da produção e emissão de uma sequência de compostos químicos voláteis, permitindo que inimigos naturais (parasitoides e predadores) identifiquem tais substâncias em situações críticas, possibilitando a localização do hospedeiro (ZU *et al.*, 2022; SHARMA *et al.*, 2020).

Os inimigos naturais são incumbidos do forrageamento de insetos sugadores, mastigadores e/ou que induzem a produção de galhas nas plantas, impactando as populações de herbívoros, favorecendo a defesa indireta das plantas. No estudo sobre os compostos orgânicos

voláteis emitidos na cultura da pimenta após o ataque do gorgulho *Anthonomus eugeni* Cano (Coleoptera: Curculionidae), foi encarregado pela atração da vespa *Jaliscoa hunteri* (Crawford) (Hymenoptera: Pteromalidae) que contribui para o controle biológico desta praga, sendo um promissor agente na gestão de manejo de pragas agrícolas (LEO *et al.*, 2024).

Gráfico 6 - Número de insetos adultos *C. citricola* capturados nas armadilhas contendo diferentes compostos voláteis (nonanal, linalol, tetradecano e β -ocimeno) testados isoladamente, além de uma formulação combinada, comparados a um controle sem atrativo

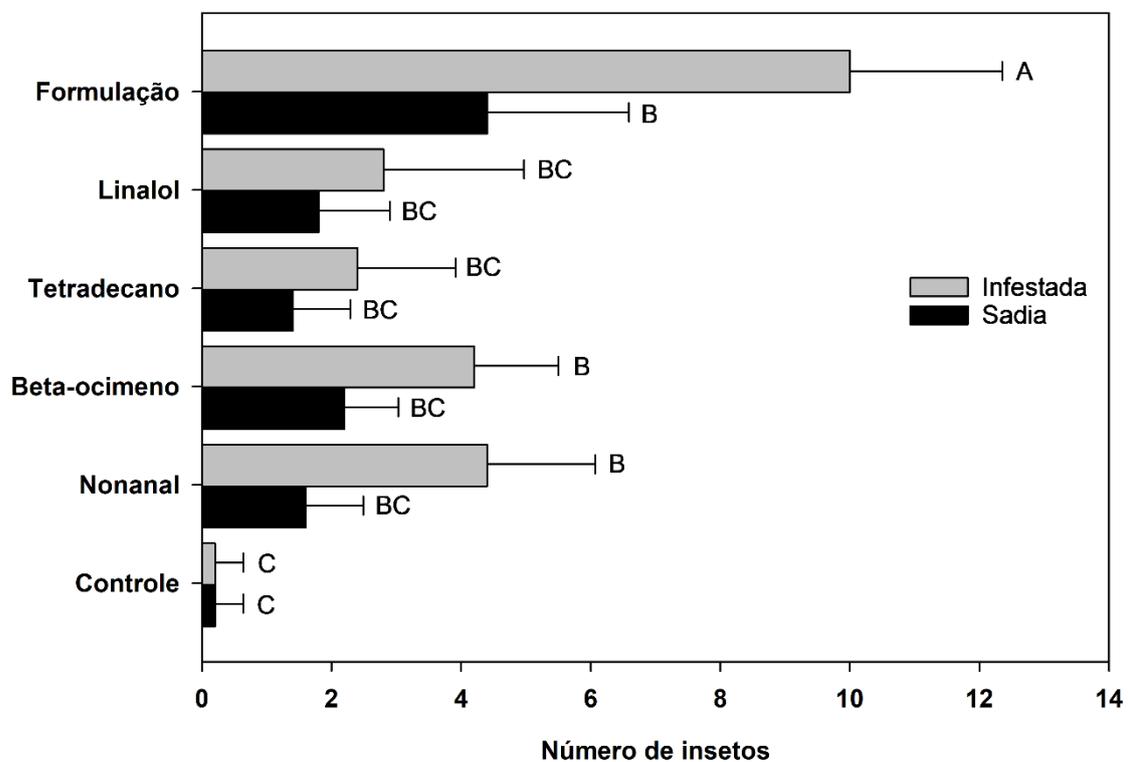


Fonte: O autor (2025).

A avaliação do número de insetos capturados nos diferentes tratamentos, em áreas infestada e sadia pela *D. echinocacti*, constatou diferença estatisticamente a ação efetiva da formulação. Verificou-se, em condições de infestação da cultura da palma forrageira, uma preferência evidente do inimigo natural *Z. bimaculosus* pela mistura adotada, sugerindo que a ocorrência da herbivoria tem potencial para alterar o comportamento dos insetos a esse compostos. Para os compostos isolados, linalol, tetradecano, beta-ocimeno e nonanal, foi observado maior recrutamento do inseto predador na área infestada, porém não apresentando diferença significativa quando comparados entre si. O tratamento controle em ambas as áreas confirmou que na falta de tais compostos, os resultados de captura não significativamente menores.

A mistura dos compostos nonanal, linalol, tetradecano e beta-ocimeno, podem ter resultado em um efeito sinérgico, aumentando e potencializando a efetividade do atrativo, ocasionando alterações comportamentais nos inimigos naturais que resultaram em uma maior escolha para a mistura. Embora, determinadas misturas podem resultar em efeitos antagônicos, em que a combinação se caracteriza pela diminuição significativa na atividade biológica esperada, já a eficiência dos compostos não devem ser considerados isoladamente, mas no efeito sinérgico entra as substâncias (FIGUEIREDO *et al.*, 2019; LEMES *et al.*, 2014).

Gráfico 7 - Número de insetos adultos *Z. bimaculosus* capturados nas armadilhas contendo diferentes compostos voláteis (nonanal, linalol, tetradecano e β -ocimeno) testados isoladamente, além de uma formulação combinada, comparados a um controle sem atrativo



Fonte: O autor (2025).

Evidenciou-se que a área infestada pela cochonilha de escama *D. echinocacti* expressou respostas significativas para uma maior atratividade dos inimigos naturais *C. citricola* e *Z. bimaculosus*, sugerindo uma provável interferência do estado fisiológico das plantas, ou à prática da herbivoria pela praga, resultando em respostas comportamentais significativas aos compostos atrativos estudados.

10. CONCLUSÕES

A interação entre os inimigos naturais *C. citricola* e *Z. bimaculosus* adultos, expostos a diferentes concentrações dos compostos nonanal, linalol, tetradecano e (*E*)- β -ocimeno, resultaram influência significativa no comportamento de busca dos insetos, potencializando um aumento nas respostas atrativas.

A avaliação dos bioensaios em olfatômetro do tipo Y, com as concentrações mínimas testadas de todos os compostos, não indicaram resultados significativos de atratividade para ambos os inimigos naturais.

Dentre os testes comportamentais conduzidos, somente o composto tetradecano não demonstrou resultado significativo na atratividade do *C. citricola* no olfatômetro de quatro braços.

Na avaliação de atratividade e captura em campo, a combinação sinérgica dos compostos nonanal, linalol, tetradecano e (*E*)- β -ocimeno em comparação aos compostos isolados, apresentou melhor potencial para atuar na atividade promissora de controle biológico de *D. echinocacti*. Porém, experimentos em campo adicionais são indispensáveis para aperfeiçoar a eficiência das formulações resultantes.

REFERÊNCIAS

- ALTUZAR, A.; MALO, E. A.; GONZALEZ-HERNANDEZ, H.; ROJAS, J. C. Electrophysiological and behavioural responses of *Scyphophorus acupunctatus* (Col., Curculionidae) to Agave tequilana volatiles. **Journal of Applied Entomology**, v. 131, n. 2, p. 121-127, 2007.
- ARIMURA, G.; MATSUI K.; TAKABAYASHI, J. Chemical and molecular ecology of herbivore-induced plant volatiles: proximate factors and their ultimate functions. **Plant Cell Physiol**, v. 50, n. 5, p. 911–923, 2009.
- COUTINHO-ABREU I. V.; MCINALLY, S.; FORSTER, L.; LUCK, R.; RAY, A. Odor Coding in a Disease-Transmitting Herbivorous Insect, the Asian Citrus Psyllid. **Chemical Senses**, v. 39, n. 6, p. 539-549, 2014.
- FARRÉ-ARMENGOL, G.; FILELLA, I.; LLUSIÀ, J.; PEÑUELAS, J. β -Ocimene, a Key Floral and Foliar Volatile Involved in Multiple Interactions between Plants and Other Organisms. **Molecules**, v. 22, n. 7, p. 1148-1156, 2017.
- FIGUEIREDO, C.S.; LEMES, A.R.N.; SEBASTIÃO, I.; DESIDÉRIO, J.A. Synergism of the *Bacillus thuringiensis* Cry1, Cry2 and Vip3 proteins in *Spodoptera frugiperda* control. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 188, n. 3, p. 798-809, 2019.
- GIORGI, J. A.; VANDENBERG, N. J.; MCHUGH, J. V.; FORRESTER J. A.; ŚLIPÍŃSKI, S. A.; MILLER, K. B.; SHAPIRO, L. R.; WHITING, M. F. The evolution of food preferences in Coccinellidae. **Biol. Control**, v. 51, n. 2, p. 215-231, 2009.
- GRAVENA, S. Controle biológico no manejo integrado de pragas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 13, p. 281-299, 1992.
- ISHIWARI, H.; SUZUKI, T.; MAEDA, T. Essential compounds in herbivore-induced plant volatiles that attract the predatory mite *Neosiulus womersleyi*. **Journal of Chemical Ecology**, v. 33, n. 9, p. 1670–1681, 2007.
- KANG, Z. W.; LIU, F. H.; ZHANG, Z. F.; TIAN, H. G.; LIU, T. X. Volatile β -ocimene can regulate developmental performance of peach aphid *Myzus persicae* through activation of defense responses in Chinese cabbage *Brassica pekinensis*. **Frontiers in plant Science**, v. 9, n. 8, p. 708 -719, 2018.
- KHAN, Z.; MIDEGA, C. A. O.; HOOPER, A.; PICKETT, J. Push-Pull: Chemical Ecology Based Integrated Pest Management Technology. **Journal of Chemical Ecology**, v. 42, n.7, p. 689– 697, 2016.
- LEO, S.; LABBÉ, R.; MCDOWELL, T.; SCOTT-DUPREE, C. Volatiles emitted by pepper weevil-infested plants and fruit strongly attract the pteromalid parasitoid *Jaliscoa hunteri*. **Biological Control**, v. 197, p. 105588-105597, 2024.
- LEMES, A. R. N.; DAVOLOS, C.C.; LEGORI, P. C. B. C.; FERNANDES, O. A.; FERRÉ, J.; LEMOS, M. V. F.; DESIDÉRIO, J. A. Synergism and antagonism between *Bacillus*

thuringiensis Vip3A and Cry1 proteins in *Heliothis virescens*, *Diatraea saccharalis* and *Spodoptera frugiperda*. **PLoS One**, v. 9, n. 10, p. 107196-107203, 2014.

MALES, J.; GRIFFITHS, H. Stomatal biology of CAM plants. **Plant Physiology**, v. 174, n. 2, p. 550-560, 2017.

MARQUES, F.A.; WENDLER, E. P.; SALES MAIA, B. H. L. N.; VENTURA, M. U.; ARRUDA-GATTI, I. C. Identification of defensive compounds in metathoracic glands of adults of the stink bug *Dichelops melacanthus* (Hemiptera: Pentatomidae). **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 18, n. 6, p. 1242–1246, 2007.

MORAWO, T.; BURROWS, M.; FADAMIRO, H. Electroantennogram response of the parasitoid, *Microplitis croceipes* to host-related odors: the discrepancy between relative abundance and level of antennal responses to volatile compound. **F1000Research**, v. 5, n. 8, p. 2725-2736, 2017.

PARRA, J. R. P. Biological control in Brazil: an overview. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 5, p. 420-429, 2014.

PETTERSSON, J. An aphid sex attractant. **Insect Systematics & Evolution**, v. 1, n. 1, p. 63-73, 1970.

ROSTÁS, M.; EGGERT, K. Ontogenetic and spatio-temporal patterns of induced volatiles in *Glycine max* in the light of the optimal defence hypothesis. **Chemoecology**, v. 18, n. 1, p. 29-38, 2008.

SHARMA, G.; MALTHANKAR, P. A.; MATHUR, V. Insect–Plant Interactions: A Multilayered Relationship. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 114, n. 1, p. 1-16, 2020.

SANTOS, L. M. M.; LIMA, J. C. L. C.; LEMOS, L. J. U. Diversity of insects associated with forage palm crops in the municipality of Floresta –PE. **Revista Semiárido De Visu**, v. 11, n. 2, p. 566-577, 2023.

SERDO, D. F. Insects' perception and behavioral responses to plant semiochemicals. **PeerJ**, v. 12, n. 8, p. 17735 – 17754, 2024.

SOARES, F. M. F.; ALBUQUERQUE, A. L. S.; SILVA, W. R. T. Avaliação do crescimento vegetativo de palma forrageira no Semiárido Alagoano. **Diversitas journal**, v.6, n. 1, p.1777-1785, 2021.

SOBHY, I. S.; BRUCEC, T. J. A.; TURLINGS, T. C. J. Priming of cowpea volatile emissions with defense inducers enhances the plant's attractiveness to parasitoids when attacked by caterpillars. **Pest Management Science**, v. 74, n. 4, p. 966-977, 2018.

SUN, X. L.; WANG, G. C.; CAI, X. M.; JIN, S.; GAO, Y.; CHEN, Z. M. The tea weevil, *Myloecerus aurolineatus*, is attracted to volatiles induced by conspecifics. **Journal of Chemical Ecology**, v. 36, n. 4, p. 388-395, 2010.

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**, v. 41, n. 9, p. 801-807, 2015.

THOMPSON, M. N.; ARRIAGA, J.; BRADFORD, B. J.; KURIAN, R.; STROZIER, G.; HELMS, A. M. Belowground Insect Herbivory Induces Systemic Volatile Emissions That

Strengthen Neighbouring Plant Resistance Aboveground. **Plant Cell Environ**, v. 47, n. 2, p. 714–725, 2023.

UKEH, D. A.; BIRKETT, M.; PICKETT, J.; BOW MAN, A. S.; MORDUE, A. J. Repellent activity of alligator pepper, *Aframomum melegueta*, and ginger, *Zingiber officinale*, against the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. **Phytochemistry**, v. 70, n. 6, p. 751-758, 2009.

VET, L. E. M.; VAN, L. J. C.; HEYMANS, M.; MEELIS, E. An airflow olfactometer for measuring olfactory responses of hymenopterous parasitoids and other small insects. **Physiological Entomology**, v. 8, n. 1, p. 97-106, 1983.

WAR, A. R.; SHARMA, H. C.; PAULRAJ, M. G.; WAR, M. Y.; IGNACIMUTHU, S. Herbivore induced plant volatiles: Their role in plant defense for pest management. **Plant Signaling and Behavior**, v. 6, n. 12, p. 1973–1978, 2011.

YU, H.; ZHANG, Y.; WU, K.; GAO, X. W.; GUO, Y. Y. Field-Testing of Synthetic Herbivore-Induced Plant Volatiles as Attractants for Beneficial Insects. **Environmental Entomology**, v. 37, n. 6, p. 1410-1415, 2008.

ZHAO, J.; LIANG, M.; WANG, Z.; ZHAO, Y.; CHENG, J.; DU, Y. Evaluation and optimization of blends for attracting *Trichogramma dendrolimi* based on semiochemicals mediating tritrophic interactions in the orchard habitat. **Biological Control**, v. 173, p. 104998-105006, 2022.

ZU, P.; GARCÍA-GARCÍA, R.; SCHUMAN, M. C.; SAAVEDRA, S.; MELIÁN, C. J. Plant–insect chemical communication in ecological communities: An information theory perspective. **Journal of Systematics and Evolution**, v. 61, n. 3, p. 445-453, 2022.