



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

Instituto de Biologia

Programa de Pós-Graduação em Ecologia: Teoria, Aplicação e Valores

Mestrado em Ecologia

LORENA ARAUJO PEIXOTO CORREIA

**AVALIAÇÃO DA ATRATIVIDADE DE TRÊS ESPÉCIES DE
MOSCAS-DAS-FRUTAS (DIPTERA: TEPHRITIDAE) AOS COMPOSTOS
VOLÁTEIS DA AMENDOEIRA-DA-PRAIA, *TERMINALIA CATAPPA* E
PRODUTOS COMERCIAIS.**

Salvador, Outubro de 2021

LORENA ARAUJO PEIXOTO CORREIA

**AVALIAÇÃO DA ATRATIVIDADE DE TRÊS ESPÉCIES DE
MOSCAS-DAS-FRUTAS (DIPTERA: TEPHRITIDAE) AOS COMPOSTOS
VOLÁTEIS DA AMENDOEIRA-DA-PRAIA, *TERMINALIA CATAPPA* E
PRODUTOS COMERCIAIS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia: Teoria, Aplicação e Valores como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de mestre em Ecologia.

Orientadora: Dra. Iara Sordi Joachim Bravo

Coorientador: Dr. Paulo Roberto Ribeiro de Mesquita

Salvador, outubro de 2021

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas
Universidade Federal da Bahia – UFBA
Biblioteca Universitária Reitor Macedo Costa
Bibliotecária: Joceane Santos

Correia, Lorena Araujo Peixoto.

Avaliação da atratividade de três espécies de mosca-das-frutas (Diptera: Tephritidae) aos compostos voláteis da amendoeira-da-praia, *Terminalia catappa* e produtos comerciais / Lorena Araujo Peixoto

Correia. - 2021.

93 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Iara Sordi Joachim Bravo.

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Roberto de Mesquita.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Instituto de Biologia, Salvador, 2021.

1. Ecologia. 2. Insetos. 3. Mosca-das-frutas - Comportamento. 4. Relação inseto-planta. 5. Pragas - Controle biológico. I. Bravo, Iara Sordi Joachim. II. Universidade Federal da Bahia. Instituto de Biologia. III. Título.

CDD - 595.731

CDU - 575.773.4

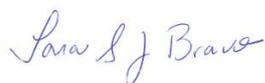
LORENA ARAUJO PEIXOTO CORREIA

**AVALIAÇÃO DA ATRATIVIDADE DE TRÊS ESPÉCIES DE
MOSCAS-DAS-FRUTAS (DIPTERA: TEPHRITIDAE) AOS COMPOSTOS
VOLÁTEIS DA AMENDOEIRA-DA-PRAIA, *TERMINALIA CATAPPA* E
PRODUTOS COMERCIAIS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia: Teoria, Aplicação e Valores como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de mestre em Ecologia.

Aprovado em: 24 de Novembro de 2021

BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Iara Sordi Joachim Bravo
Orientadora - Universidade Federal da Bahia – UFBA



Dra. Kelly Barbosa da Silva
Universidade Federal de Alagoas - UFAL



Profa. Dra. Ruth Rufino do Nascimento
Universidade Federal de Alagoas - UFAL

AGRADECIMENTOS

Ao universo, pela vida, saúde e oportunidade de vivenciar essa e tantas outras experiências.

A profa. Dra. Iara Sordi Joachim Bravo pela oportunidade, confiança e orientação, não somente no mestrado, mas durante os últimos sete anos nos quais estive associada ao Laboratório de Ecologia Comportamental de Insetos - LECI. Foi uma longa jornada onde pude adquirir muito conhecimento como profissional e como ser humano, muito obrigada por sempre permitir e incentivar nossas ideias de projeto, tenho uma grande admiração pelo seu respeito aos desejos acadêmicos e profissionais de seus alunos.

Ao Prof. Dr. Paulo Roberto Ribeiro de Mesquita pela oportunidade, orientação e paciência, sou muito grata por todos os ensinamentos, você contribuiu muito para minha formação profissional durante esses anos. É para mim, um exemplo de profissional dedicado e comprometido com a pesquisa e a educação.

A Dra. Kelly Barbosa da Silva, por ter compartilhado comigo tantos conhecimentos sobre a eletroantenografia, pela paciência, dedicação e amizade, você sempre esteve disposta a me ajudar, não importava a hora e o dia. Sua determinação e empenho são um exemplo a ser seguido.

Aos meus amigos do laboratório, Jennifer Andrade, Bianca Almeida, Artur Fiais e Carina Cristina por todo o suporte durante o desenvolvimento deste trabalho, pela amizade, conversas e momentos de diversão.

A minha amiga Amanda Cardoso, por estar ao meu lado durante essa jornada, desde os estudos para o processo seletivo, durante as disciplinas e dia a dia do laboratório.

A minha amiga Mara Neiva, que me acompanhou nessa jornada e sempre esteve disposta em me ajudar a transpor as barreiras que surgiram, sou muito grata por tua amizade, companhia e apoio. É certo o ditado popular “Duas cabeças pensam melhor que uma”, principalmente no final do dia quando já estávamos esgotadas.

As minhas amigas Ina Viana, Emille Mattos e Taiana Lima, por sempre acreditarem em mim e me incentivarem na vida acadêmica e pessoal, e principalmente por me apoiarem no momento mais difícil que passei durante essa jornada.

Ao meu amigo Alexandre Araújo, que vem me apoiando desde a graduação e iniciação científica, que sempre me ajudou quando precisei, principalmente nas análises estatísticas. Você é um pesquisador nato!

Aos meus colegas de turma Edson Serafim, Caroline Tito, Ana Beatriz e Daniel Gonçalves, vocês tornaram essa caminhada muito mais leve.

Aos professores e professoras do Programa de Pós-Graduação em Ecologia: Teoria, Aplicação e Valores, por todo os ensinamentos durante minha formação, e pela disponibilidade em ouvir e ajudar a tornar nosso trabalho cada vez melhor. O comprometimento e empenho na execução de suas atividades, tornam essa pós um programa de excelência nacional.

Aos meu pais, por me incentivarem nos estudos, mesmo sem entender muito bem o que eu faço.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa auxílio, que me permitiu dar continuidade no meu processo de formação acadêmica.

Ao Centro Tecnológico Agropecuário da Bahia - CETAB por disponibilizar a infraestrutura do Laboratório de Resíduos e Contaminantes para desenvolvimento da minha pesquisa

“O conhecimento tem um começo, mas não tem fim”

Geeta Iyengar

RESUMO

As moscas-das-frutas estão entre os mais importantes insetos-praga da fruticultura mundial, devido as perdas econômicas ocasionadas pela oviposição realizada pelas fêmeas no fruto hospedeiro, tornando-o inviável para o consumo e comercialização. As espécies *Ceratitis capitata*, *Anastrepha fraterculus* e *Anastrepha obliqua* são de maior importância econômica para o Brasil. Para o monitoramento desses insetos são aplicadas armadilhas contendo atrativos, que podem estar associados a iscas tóxicas. O controle dessas moscas é realizado com o uso de produtos fitossanitários que possuem elevada toxicidade e período de carência, além de gerarem risco de contaminação ambiental e humana. Atualmente as altas taxas de resíduos de agrotóxicos estão entre os fatores limitantes à livre exportação de frutos, juntamente com a infestação destes por moscas-das-frutas. Assim, o controle comportamental com uso de semioquímicos vem sendo uma das mais promissoras alternativas para monitorar e suprimir esses insetos no campo. Esses compostos possuem as vantagens de serem atóxicos, espécie-específicos, ecologicamente aceitáveis e utilizados em pequenas quantidades. Esse trabalho teve como objetivo identificar os compostos voláteis do fruto de amendoeira (*Terminalia catappa*) e do extrato glicólico e essência de uva que possam atuar como atrativos para três espécies de moscas-das-frutas. Os insetos utilizados nos experimentos são provenientes da criação mantida no Laboratório de Ecologia Comportamental de Insetos - LECI, seguindo as diretrizes da FAO/IAEA. O extrato da amendoeira-da-praia foi obtido por aeração dos frutos maduros durante 24 horas e posterior eluição do adsorvente com hexano grau HPLC, seguido por concentração da amostra por fluxo de nitrogênio e análise por CG-EM e bioensaio de CG-EAG. A extração de voláteis dos produtos comerciais foi realizada por SPME, seguida de análise por CG-EM. O bioensaio de atratividade desses compostos foi realizado em arenas de vidro transparente (45cm x 30 cm x 30 cm). Os dados foram analisados por GLMM no software Rstudio. A caracterização de compostos voláteis resultou na identificação de 72 compostos presentes no extrato do fruto maduro da amendoeira, 45 compostos no extrato glicólico de uva e 13 na essência de uva. O bioensaio de eletroantenografia revelou 5 compostos do extrato da amendoeira que eliciaram resposta antenal em fêmeas de *A. obliqua* e 4 para fêmeas de *C. capitata*. Nenhum resultado conclusivo foi observado nesse bioensaio para a espécie *A. fraterculus*. Os compostos ativos foram identificados por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa (CG-EM). O 1-hexanol, 1-octen-3-ol, hexanoato de etila, acetato de geranyl e geranylacetona foram ativos para *A. obliqua*. Para *C. capitata* os compostos 1-penten-3-ol, isoprenol, 2-metil-2-buten-1-ol e prenol desencadearam resposta ativa em fêmeas desta espécie. O teste de atratividade realizado em arenas com extrato glicólico e essência de uva indicaram que o extrato glicólico de uva possui potencial de atratividade para machos e fêmeas, virgens e copulados de *A. fraterculus*, valor de $p < 0,05$. A essência de uva não obteve bons resultados na captura desses insetos. Esses resultados indicam que as fêmeas das espécies estudadas reconhecem compostos específicos, os quais podem contribuir para aplicação de semioquímicos no monitoramento e controle dessas pragas no campo.

Palavras-chave: cairomônio, tefritídeos, atrativo, bioensaios

ABSTRACT

Fruit flies are among the most relevant pests in the world. Due to economic losses caused by oviposition, host fruit becomes unfeasible for consumption and commercialization. *Ceratitis capitata*, *Anastrepha fraterculus*, and *Anastrepha obliqua* are the most economically important pest species for Brazil. Aiming to control these insects, traps containing attractants are applied, which may be associated with toxic baits. Phytosanitary products are used to control this pest. However, it may contain high toxicity and a grace period, in addition to generating a risk of environmental and human contamination. Currently, the high rates of pesticide residues are among the limiting factors for the free export of fruits, together with their infestation by fruit flies. Currently, the high rates of pesticide residues are among the limiting factors for the free export of fruits, together with their infestation by fruit flies. Thus, behavioral control using semiochemicals has been one of the most promising alternatives to monitor and suppress these insects in the field. These compounds have the advantages of being non-toxic, species-specific, ecologically acceptable, and used in small amounts. This work aimed to identify volatile compounds from almond fruit and grape extract and essence that can attract three species of fruit flies. The insects used in the experiments come from the creation maintained at the Laboratory of Behavioral Ecology of Insects - LECEI, following the guidelines of the FAO/IAEA. The beach almond extract was obtained by aeration of ripe fruits for 24 hours and subsequent elution of the adsorbent with HPLC grade hexane, followed by sample concentration by nitrogen flow and analysis by GC-MS and GC-EAD bioassay. The extraction of volatiles from commercial products was performed by SPME, followed by analysis by GC-MS. The test of the attractiveness of these compounds was carried out in glass arenas (45cm x 30 cm x 30 cm). Data were analyzed by GLMM in Rstudio software. The characterization of volatile compounds resulted in the identification of 72 compounds present in the extract of the ripe almond fruit, 45 compounds in the glycolic extract of grape, and 13 in the grape essence. The electroantennography bioassay revealed five compounds from the almond extract that elicited response for females of *A. obliqua* and 4 for females of *C. capitata*. There were no conclusive results in this bioassay regarding the species *A. fraterculus*. The active compounds were identified by gas chromatography coupled with mass spectrometry (GC-MS). 1-hexanol, 1-octen-3-ol, ethyl hexanoate, geranyl acetate, and geranyl acetone were active for *A. obliqua*. For *C. capitata* the following compounds generated active response, 1-penten-3-ol, isoprenol, 2-buten-1-ol-2-methyl and prenol. The attractiveness test performed in arenas with glycolic extract and grape essence indicated that the glycolic extract of grape has potential attractiveness for males and females, virgins, and copulates of *A. fraterculus*, p-value <0.05. Grape essence did not show any significant difference in the capture of these insects. These results indicate that females may identify specific compounds, which may contribute to the semiochemicals application in monitoring and controlling these pests in the field.

Keywords: kairomone, tephritids, attractant, bioassays.

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Figura 1 - Ciclo de vida moscas-das-frutas.....	18
Figura 2 - Distribuição geográfica da espécie <i>Ceratitis capitata</i> pelo globo.....	19
Figura 3 - Distribuição geográfica da espécie <i>Anastrepha fraterculus</i> pelo globo.....	20
Figura 4 - Distribuição geográfica da espécie <i>Anastrepha obliqua</i> pelo globo.....	21
Figura 5 - Fêmeas de moscas-das-frutas. A - <i>Ceratitis capitata</i> ; B - <i>Anastrepha fraterculus</i> e C - <i>Anastrepha obliqua</i>	22
Figura 6 - Esquema da classificação dos semioquímicos.....	26

METODOLOGIA GERAL

Figura 7 - Criação artificial de moscas-das-frutas.....	35
Figura 8 - Sistema de headspace dinâmico utilizado na coleta dos voláteis dos frutos da amendoeira-da-praia.....	37
Figura 9 - Amostra de extrato sob fluxo de nitrogênio para concentração.....	38
Figura 10 - Tubos adsorventes tipo TDU. A - Tenax TA; B - Tenax TA/Graphitized Carbon/Carboxen 1000; C - Tenax GR/Carbopack B.....	39
Figura 11 - Extração de compostos voláteis pela técnica de SPME. A - suporte fibra; B - vial com amostra; C - bloco de alumínio e D - Placa de aquecimento.....	40
Figura 12 - Cromatógrafo gasoso acoplado a espectrômetro de massa (CG-EM).....	41
Figura 13 - Bioensaio de arena, com duas armadilhas, uma contendo o atrativo e outra com o controle, no centro da gaiola um copo com algodão embebido em água.....	42
Figura 14 - Desenho esquemático do modelo de armadilha de garrafa PET adaptada que utilizamos no bioensaio de arena.....	43
Figura 15 - Bioensaio CG-EAG; A - Vista superior do sistema de conexão da antena; B - Vista aproximada dos capilares com uma cabeça de moscas-das-frutas conectada a sua extremidade e a ponta da antena conectada ao outro capilar.....	45

RESULTADOS

Figura 16 - Comparação da área média de adsorção de compostos de três polímeros adsorventes.....	46
---	----

Figura 17 - Comparação da área média de dessorção de compostos com o uso de três volumes distintos de solvente.....	46
Figura 18 - Cromatograma CG-EM do extrato do fruto maduro da amendoeira-da-praia.....	47
Figura 19 - Resposta de antena de fêmea <i>A. obliqua</i> em análises de CG-EAG utilizando extrato dos voláteis dos frutos da amendoeira-da-praia.....	50
Figura 20 - Estrutura química dos compostos EAG ativos para fêmeas de <i>A. obliqua</i>	53
Figura 21 - Registro da despolarização de antena de fêmeas de <i>C. capitata</i> em análises de CG – EAG para o extrato dos voláteis da amendoeira-da-praia (pico 1 na linha do DIC), referente ao composto 1-penten-3-ol.....	57
Figura 22 - Compostos voláteis presentes na composição do extrato da amendoeira-da-praia que desencadearam resposta eletroantenográfica para <i>C. capitata</i> . Pico 2 e 3 na linha do DIC, compostos isoprenol e 2-metil-2-buten-1-ol, respectivamente.....	57
Figura 23 - Compostos voláteis presentes na composição do extrato da amendoeira-da-praia que estimularam resposta antenal em <i>C. capitata</i> . Pico 4 na linha do DIC - composto prenol.....	57
Figura 24 - Estrutura química dos compostos EAG ativos para fêmeas de <i>C. capitata</i>	58
Figura 25 - Atratividade do extrato glicólico de uva e do controle para fêmeas virgem de <i>Anastrepha fraterculus</i> em bioensaio de arena, valores relativos ao número de indivíduos capturados nas armadilhas adaptadas. Valor de $p < 0,05$	66
Figura 26 - Atratividade do extrato glicólico de uva e do controle para fêmeas copulada de <i>Anastrepha fraterculus</i> em bioensaio de arena, valores relativos ao número de indivíduos capturados nas armadilhas adaptadas. Valor de $p < 0,05$	66
Figura 27 - Atratividade do extrato glicólico de uva e do controle para machos copulado de <i>Anastrepha fraterculus</i> em bioensaio de arena, valores relativos ao número de indivíduos capturados nas armadilhas adaptadas. Valor de $p < 0,05$	67
Figura 28 - Atratividade do extrato glicólico de uva e do controle para machos virgens de <i>Anastrepha fraterculus</i> em bioensaio de arena, valores relativos ao número de indivíduos capturados nas armadilhas adaptadas. Valor de $p < 0,05$	67
Figura 29 - Atratividade da essência de uva e do controle para fêmeas virgem de <i>Anastrepha fraterculus</i> em bioensaio de arena, valores relativos ao número de indivíduos capturados nas armadilhas adaptadas. Valor de $p > 0,05$	67

Figura 30 - Atratividade da essência de uva e do controle para fêmeas virgem de *Anastrepha fraterculus* em bioensaio de arena, valores relativos ao número de indivíduos capturados nas armadilhas adaptadas. Valor de $p > 0,05$68

Figura 31 - Atratividade da essência de uva e do controle para machos virgem de *Anastrepha fraterculus* em bioensaio de arena, valores relativos ao número de indivíduos capturados nas armadilhas adaptadas. Valor de $p > 0,05$68

Figura 32 - Atratividade da essência de uva e do controle para machos copulado de *Anastrepha fraterculus* em bioensaio de arena, valores relativos ao número de indivíduos capturados nas armadilhas adaptadas. Valor de $p > 0,05$68

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Compostos voláteis identificados no extrato de fruto maduro de <i>Terminalia catappa</i>	47
Quadro 1 - Compostos voláteis da amendoeira que apresentaram resposta eletroantenografica em fêmeas sexualmente maduras de <i>A. obliqua</i> e seus respectivos tempos de retenção (TR) e índice de kovats (IK).....	52
Quadro 2 - Compostos voláteis da amendoeira que apresentaram resposta eletroantenografica em fêmeas sexualmente maduras de <i>C. capitata</i> e seus respectivos tempos de retenção (TR) e índice de kovats (IK).....	58
Tabela 2 - Identificação de voláteis de compostos comerciais e fruto de uva a partir da técnica de SPME.....	62

LISTA DE ABREVIACÕES

CG - Cromatografia gasosa

CG - EM - Cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas

CG - EAG - Cromatografia gasosa acoplada a detecção por eletroantenografia
(*electroantennographic detection*)

DIC - Detector por ionização de chama (*flame ionization detector*)

SPME - Microextração em fase sólida (*solid phase micro-extraction*)

EAG - Eletroantenografia

NIST - National Institute of Standards and Technology

IK - Índice de Kovats

MIP - Manejo Integrado de Pragas

EPPO - European and Mediterranean Plant Protection Organization

HMP - Feromônio Marcador de Hospedeiro

COVs - Compostos Orgânicos Voláteis

ABRAFRUTAS - Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e
Derivados

PNDF - Plano Nacional de Desenvolvimento da Fruticultura

GLMM - Modelo Linear Generalizado Misto

VPIHs - Voláteis de Plantas Induzidos por Herbivoria

SUMÁRIO

Sumário.....	14
1. Introdução.....	15
2. Revisão bibliográfica.....	18
2.1 Insetos alvo e sua distribuição geográfica.....	18
2.2 Controle de moscas-das-frutas.....	23
2.3 Fruticultura brasileira.....	24
2.4 Comunicação química.....	25
2.5 Planta hospedeira.....	30
2.6 Produtos comerciais como atrativos para moscas-das-frutas.....	31
2.7 Técnicas de extração e identificação de compostos voláteis.....	32
2.8 Técnica de eletroantenografia acoplada a cromatografia gasosa.....	33
3. Objetivos.....	34
4. Metodologia Geral.....	35
4.1 Criação artificial de moscas-das-frutas.....	35
4.2 Coleta de Voláteis.....	36
4.2.1 Teste para escolha do polímero adsorvente.....	37
4.2.2 Determinação do volume de solvente.....	38
4.2.3 Amostras de voláteis para CG – EAG.....	39
4.3 Extração de compostos voláteis por SPME.....	39
4.4 Análises CG-EM.....	41
4.5 Bioensaio de arena.....	42
4.6 Bioensaio de eletroantenografia.....	44
5. Resultados e Discussão.....	45
6. Considerações finais.....	72
7. Referências.....	73

INTRODUÇÃO

As moscas-das-frutas estão entre os mais importantes insetos-praga do mundo, devido ao impacto gerado por elas na produção de diversas culturas frutíferas comerciais. As fêmeas desses tefritídeos utilizam o fruto como substrato para postura de seus ovos, onde, após a eclosão, as larvas irão consumir a polpa desse fruto tornando-o inviável para comercialização (ALUJA, 1994; MALAVASI *et al.*, 2000). O dano gerado por essa praga é irreversível, pois além do consumo larval, a punctura ocasionada no momento da oviposição gera uma porta de acesso para fungos e bactérias (CARVALHO, 2005; NONDILLO *et al.*, 2007; NAVA & BOTTON, 2010). A infestação por moscas-das-frutas está entre os principais fatores de restrição as exportações de frutos. Devido a gravidade dos danos e perdas econômicas geradas por elas, medidas de proteção fitossanitárias têm sido adotadas com o intuito de dificultar a disseminação dessas espécies pelo globo (ARAUJO *et al.*, 2009).

A família Tephritidae possui muitas espécies de moscas classificadas como pragas (WHITE & ELSON-HARRIS, 1992; MARTINS, 2002). No Brasil as de maior importância, são *Ceratitis capitata*, *Anastrepha fraterculus* e *Anastrepha obliqua* (ZUCCHI, 2000). A *C. capitata* é uma espécie exótica, originária do noroeste da África e possui ampla distribuição mundial com registros de infestação na Europa, América, Ásia e Oceania (EPPO, 2021). A ampla dispersão dessa espécie está associada à sua capacidade de adaptar-se facilmente a habitats de clima temperado e tropical, desenvolver diversas gerações ao longo do ano e usar diversas espécies de plantas como hospedeiras (LIGHT *et al.*, 1988; GASPERI *et al.*, 2002). A espécie *A. fraterculus* é nativa das Américas e está distribuída do Texas - USA até o sul do Brasil (EPPO, 2021; ZUCCHI & MORAES, 2021). Utiliza uma enorme variedade de frutos hospedeiros de diversas famílias, com preferência por espécies da família Myrtaceae (MALAVASI *et al.*, 2000; ZUCCHI & MORAES, 2021). A *A. obliqua* também é uma espécie nativa das Américas e atualmente tem ocorrência no México, América Central e do Sul (EPPO, 2021). É também uma espécie polífaga, com preferência pela família Anacardiaceae, sendo a manga (*Mangifera indica*) um dos seus hospedeiros preferenciais. Como a manga é um dos principais “comodites” da fruticultura brasileira, torna a *A. obliqua* a mais importante praga dessa cultura (ALUJA *et al.*, 2014; AGROSTAT/MAPA, 2021; EPPO, 2021).

A amendoeira-da-praia (*Terminalia catappa* Linn) é uma espécie exótica, originária da Ásia, que possui ampla distribuição em regiões de clima tropical e subtropical, principalmente em áreas litorâneas. No Brasil, está bem adaptada em regiões costeiras devido a sua resistência a salinidade, ventos fortes, alta luminosidade e escassez de água doce (LORENZI, 2003; RICHARDSON & REJMÁNEK, 2011; TANG, 2012; MARQUES *et al.*, 2012). Sua árvore possui grande porte (25 a 45 m de altura), folhas grandes e copa ampla e densa, e seu fruto é classificado como carnosos e indeiscentes. O período de frutificação no Brasil ocorre entre os meses de novembro e março (THOMSON & EVANS, 2006; IVANI *et al.*, 2008). Essa espécie é utilizada como hospedeiro para as três espécies de moscas-das-frutas estudadas nesse trabalho (NASCIMENTO & CARVALHO, 2000; RODRIGUES *et al.*, 2006; ALVARENGA *et al.*, 2021), e para outras espécies do grupo como a *Bactrocera dorsalis* (SIDERHURTS & JANG, 2006).

A escolha do fruto hospedeiro pelas fêmeas dessas espécies de moscas-das-frutas configura-se como uma das mais importantes etapas do comportamento de oviposição, pois o desenvolvimento e a sobrevivência dos imaturos dependem diretamente do aporte nutricional disponível nesse hospedeiro (SINGER, 1986; ZUCOLOTO, 2000; WETZEL *et al.*, 2016). Assim, os aspectos comportamentais associados a essa escolha são muito importantes para compreensão da interação entre inseto e planta (JOACHIM-BRAVO *et al.*, 2001). Dentre esses fatores de localização e escolha do hospedeiro, os aleloquímicos são um dos mais importantes (EDWARDS & WRATTEN, 1981). Dada a relevância desses compostos para comunicação desses insetos, estudos voltados para identificação e aplicação de semioquímicos vem sendo desenvolvidos com diversas espécies-praga, com o objetivo manejar esses insetos no campo (CRUZ-LÓPEZ *et al.*, 2006; SIDERHURST & JANG, 2006; JAYANTHI *et al.*, 2012; WALLINGFORD *et al.*, 2016; DE AQUINO *et al.*, 2021; JAYANTHI *et al.*, 2021).

O manejo através dos semioquímicos é uma abordagem ecologicamente viável, pois esses compostos são aplicados em pequenas quantidades, são atóxicos, atuam na espécie-alvo, se auto degradam e não geram poluição ambiental (GOULART, *et al.*, 2015; RIFFEL & COSTA, 2015; SEGURA *et al.*, 2018), diferentemente do cenário observado atualmente com o controle por uso de produtos fitossanitários, realizado com a aplicação de iscas tóxicas e/ou a pulverização de compostos fosforados que possuem elevada toxicidade e período de carência, baixa seletividade aos inimigos

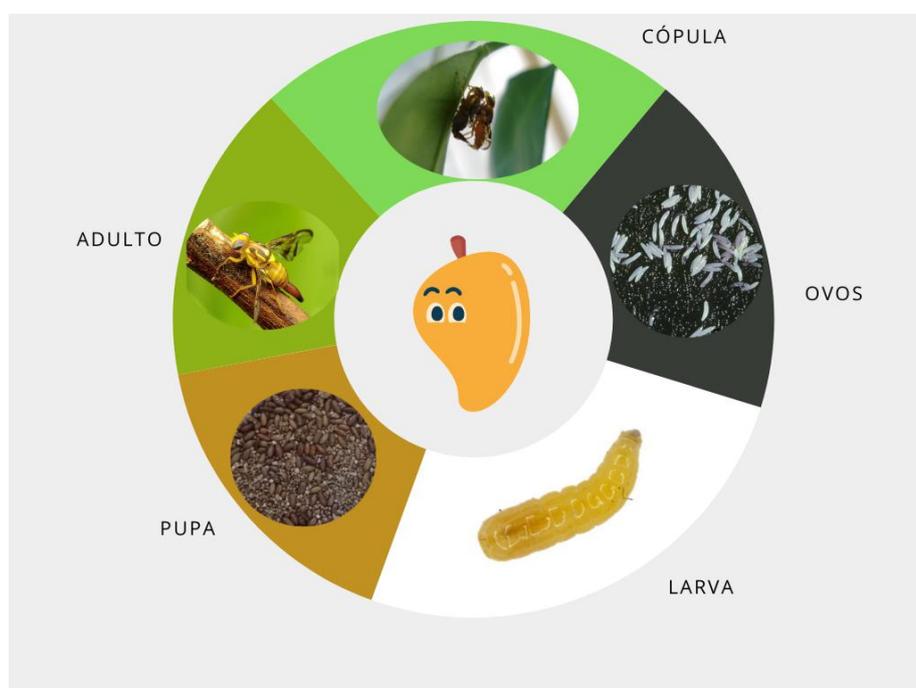
naturais, geram risco de contaminação ambiental e humana, além de possuírem alto custo (CHAIM *et al.*, 2003; SCOZ *et al.*, 2004; NAVA & BOTTON, 2010).

A fruticultura está entre os principais ramos do agronegócio brasileiro, gerando diversas vagas de emprego e renda para o país (FACHINELLO *et al.*, 2011). Porém, a atual demanda dos consumidores por produtos livre de agrotóxicos, como também regras de restrições sanitárias e limitação desses resíduos impostas pelos países importadores, tem se tornado um fator limitante para exportação da produção (CARVALHO *et al.*, 2019). Diante dessa problemática, os semioquímicos são uma excelente alternativa para o monitoramento e controle comportamental baseado no manejo integrado de pragas (MIP), atendendo a atual demanda do setor agrícola e dos consumidores, que visam a produção e consumo de produtos livre de pragas e com baixo resíduo de agrotóxicos (WITZGALL *et al.*, 2010; BLASSIOLI *et al.*, 2003; DAMOS *et al.*, 2015). Portanto, o objetivo desse trabalho foi identificar compostos voláteis do fruto de amendoeira e de extrato e essência de uva que tenham potencial atrativo para três diferentes espécies de moscas-das-frutas e que possam ser futuramente aplicadas no controle e monitoramento no campo.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Insetos alvo e sua distribuição geográfica

As moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) são insetos-praga de grande importância econômica na fruticultura mundial. A família Tephritidae possui mais de 5.000 espécies distribuídas em 500 gêneros, dentre as quais aproximadamente 20 são responsáveis pelas maiores perdas econômicas na produção (WHITE & ELSON-HARRIS, 1992; MARTINS, 2002), com destaque para os gêneros de maior distribuição geográfica: *Ceratitis* (Wiedemann, 1824), *Rhagoletis* (Loew, 1862), *Bactrocera* (Macquart, 1835), *Dacus* (Fabricius, 1805) e *Anastrepha* (Schiner, 1868) (MALAVASI *et al.*, 2000). A classificação dessas moscas como insetos-praga resulta dos danos ocasionados pela oviposição das fêmeas no fruto hospedeiro, onde após a eclosão, as larvas utilizarão a sua polpa como alimento para subsidiar seu desenvolvimento (Figura 1). Além disso, após serem perfurados pelo ovipositor, mesmo que não haja deposição de ovos, os frutos tornam-se mais suscetíveis a contaminação por fungos e bactérias, o que pode levar ao seu amadurecimento precoce, além de depreciar ou até inviabilizar seu consumo e processamento (CARVALHO, 2005; NONDILLO *et al.*, 2007; NAVA & BOTTON, 2010).



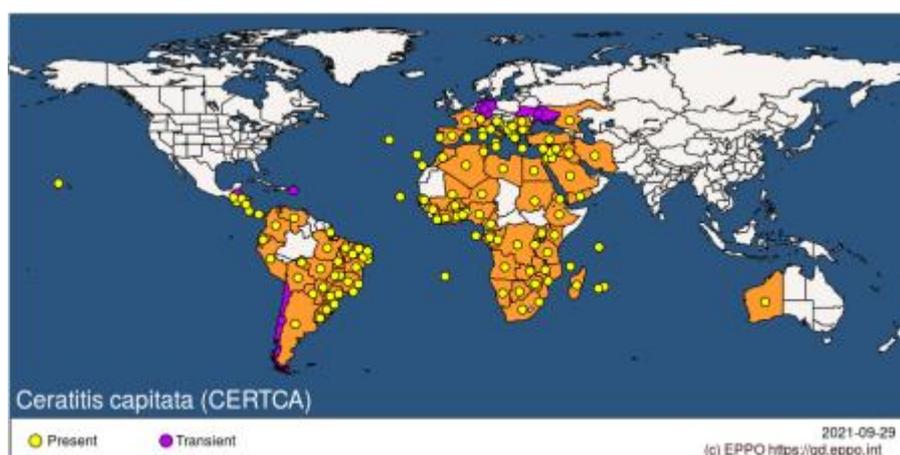
Fonte: Autora.

Figura 1 - Ciclo de vida moscas-das-frutas.

Outro fator de perda econômica associado às moscas-das-frutas é a inviabilização das exportações de produtos *in natura*, devido as restrições quarentenárias impostas pelos países importadores com o objetivo de evitar a dispersão de pragas (ARAUJO *et al.*, 2009). Também deve-se considerar os gastos com o serviço de monitoramento, controle e manutenção do cultivo (RAGA, 2005), que representam cerca de US\$ 120 milhões de dólares ao ano (TREICHEL, 2016)

No Brasil, os gêneros *Anastrepha* e *Ceratitis* são considerados os de maior importância econômica (ZUCCHI, 2000). O primeiro, nativo do continente americano, possui mais de 180 espécies, das quais 121 são encontradas no Brasil ocorrendo em 318 plantas hospedeiras, com três espécies de maior destaque: *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann), *A. obliqua* (Macquart) e *A. sororcula* (Zucchi). O segundo tem apenas uma espécie representante no Brasil, a *Ceratitis capitata* (Wied.) (ZUCCHI & MORAES, 2021). Os gêneros *Bactrocera* e *Rhagoletis* também possuem representantes no Brasil, o primeiro com apenas uma espécie, *Bactrocera carambolae* (DREW & HANCOCK, 1994), atualmente restrita aos estados do Amapá, Pará e Roraima (CARTAXO *et al.*, 2020) e o segundo com quatro espécies que ocorrem esporadicamente na região sul do país, são elas a *R. macquarti*, *R. adusta*, *R. ferruginea* e *R. blanchardi* (ZUCCHI, 2000).

A *C. capitata* também conhecida como mosca-do-Mediterrâneo tem origem no noroeste da África. É considerada uma espécie cosmopolita devido a sua ampla distribuição pelo globo (Figura 2).

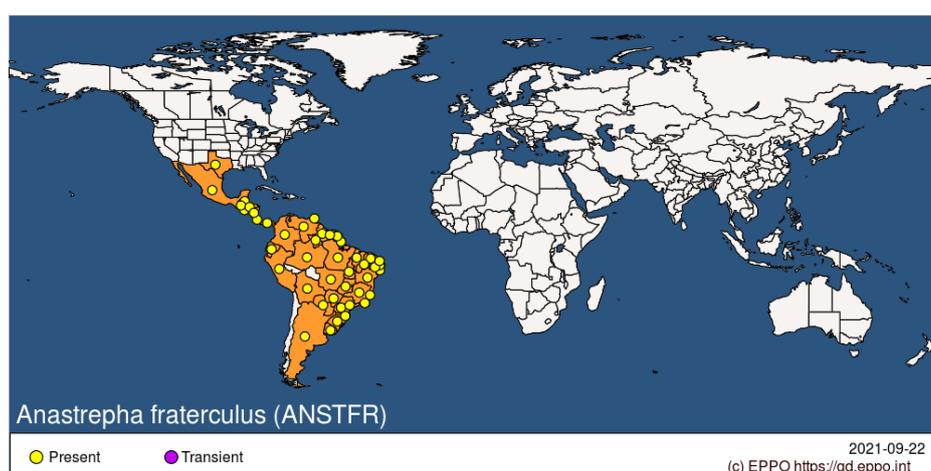


Fonte: EPPO, 2021.

Figura 2 - Distribuição geográfica da espécie *Ceratitis capitata* pelo globo.

No Brasil, foi detectada inicialmente em 1901 na cidade de São Paulo e desde então, houve registro dela em 22 estados brasileiros, principalmente nas regiões sul, sudeste e nordeste, sendo encontrada também na região norte e recentemente em 2004 no centro-oeste, o que demonstra a facilidade dessa espécie em adaptar-se a condições ambientais e hospedeiros distintos. Seus hospedeiros preferenciais são frutos exóticos, entretanto, também ataca frutos nativos (ZUCCHI e MORAES, 2021). Possui 115 espécies hospedeiras conhecidas, dentre essas, as famílias de maior destaque são: Myrtaceae (25 espécies), Rutaceae (20), Rosaceae (11), Anacardiaceae (7) e Sapotaceae (7) (ZUCCHI & MORAES, 2021). É considerada uma espécie polífaga, por possuir hospedeiros de famílias distintas, e multivoltina, por desenvolver diversas gerações ao longo do ano, além de conseguirem manter suas populações constantes por longos períodos devido a sucessão de fruto hospedeiro de acordo com a disponibilidade do mesmo no meio (ISRAELY *et al*, 1997; SELIVON, 2000). Os adultos da mosca-do-mediterrâneo possuem entre 4 a 5 mm de comprimento e 10 a 12 mm de envergadura. Coloração com predominância do tom amarelo, tórax com tonalidade preta na face superior e presença de desenhos simétricos na cor branca, abdome amarelo com presença de duas linhas transversais acinzentadas, olhos castanhos-violáceos e asas transparentes com listras amarelas, sombreadas (Figura 5A) (NAVA & BOTTON, 2010).

A espécie sul-americana *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann, 1830), possui uma ampla distribuição geográfica, desde o México até o sul da Argentina (Figura 3).



Fonte: EPPO, 2021.

Figura 3 - Distribuição geográfica da espécie *Anastrepha fraterculus* pelo globo.

No Brasil, é considerada uma das principais pragas, devido a variedade de hospedeiros que possui, o que a caracteriza como polífaga. Possui registro de presença em 24 estados brasileiros e de infestação em 159 espécies de planta hospedeira, sendo a família Myrtaceae a sua preferencial (MALAVASI *et al.*, 2000; ZUCCHI & MORAES, 2021). Na região sul do país é abundante em pomares de citros, videira, pessegueiro, macieira, goiabeira e macieira, possuindo predominância sobre as demais espécies de moscas-das-frutas, sendo classificada como praga primária, assim como, na Argentina e Uruguai (SALLES, 1995; KOVALESKI *et al.*, 2000; MALAVASI *et al.*, 2000).

A *Anastrepha obliqua* (Macquart) tem como hospedeiro preferencial a manga (*Mangifera indica*), o que a torna a praga mais importante dessa cultura. Na América do Sul, é considerada praga secundária, atrás das espécies *A. fraterculus* e *C. capitata* (EPPO, 2021). Também é caracterizada como polífaga, com registro de infestação em 70 espécies de fruto hospedeiro, com destaque para as famílias Anacardiaceae, Myrtaceae, Fabaceae, Sapotaceae, Passifloraceae, Combretaceae (MALAVASI *et al.*, 2000; ZUCCHI, 2021). Possui registro de distribuição no México, América Central e do Sul, e nas Índias Ocidentais (EPPO, 2021) (Figura 4). No território brasileiro foi registrada em 26 estados (ZUCCHI & MORAES, 2021).

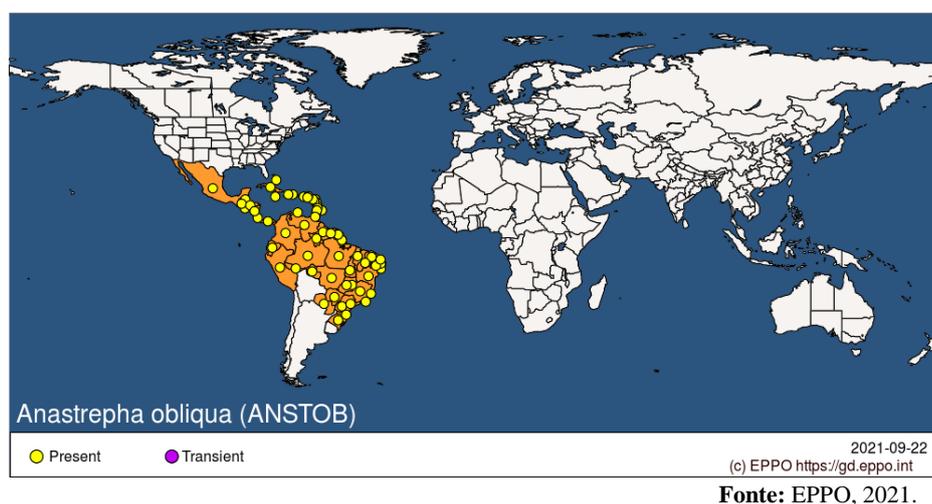
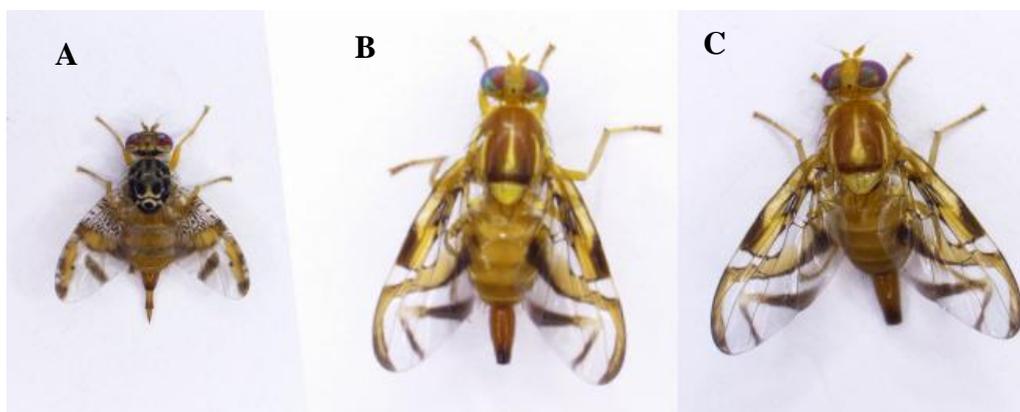


Figura 4 - Distribuição geográfica da espécie *Anastrepha obliqua* pelo globo.

De forma geral, as espécies *A. fraterculus* (Figura 5B) e *A. obliqua* (Figura 5C) apresentam características morfológicas semelhantes aos adultos do gênero *Anastrepha*, são elas: comprimento médio de 7 mm e 16 mm de envergadura, coloração amarela, com tons marrom/castanho na região da cabeça, abdome e pernas.

Possui três faixas distribuídas longitudinalmente no tórax na cor amarelo clara. Os caracteres taxonômicos utilizados na identificação das espécies do gênero são: cabeça, tórax, mesotórax, padrões de faixa da asa e o ápice do acúleo, sendo esse último, o aspecto mais importante. O acúleo é um apêndice tubular, presente apenas nas fêmeas (ZUCCHI, 2000; HERNANDEZ-ORTIZ *et al.*, 2004, RORIZ *et al.*, 2015).

O desenvolvimento da fase larval nos frutos é determinante sobre a distribuição geográfica das moscas-das-frutas, que sempre vai estar associada ao seu hospedeiro (MALAVASI *et al.*, 2000). A ampla distribuição dessas espécies pelo território brasileiro está diretamente relacionada a sua polifagia, fato corroborado pelo grande registro de associação com diversas famílias hospedeiras (SELIVON, 2000; URAMOTO *et al.*, 2005). A polifagia é uma característica muito comum a algumas espécies de moscas-das-frutas, diferentemente do que acontece para maioria dos insetos que apresentam hábitos especialistas (JAENIKE, 1990). O comportamento generalista pode ser explicado pela ausência de barreiras físicas e químicas encontradas pelas espécies ao utilizar os recursos da planta hospedeira, dado que a frugivoria não gera impactos para o hospedeiro, sendo assim, são ausentes os atributos de defesa comuns a interação de plantas e insetos especialistas (CLARKE, 2017).



Fonte: Amanda Cardoso.

Figura 5 - Fêmeas de moscas-das-frutas. A - *Ceratitis capitata*; B - *Anastrepha fraterculus* e C - *Anastrepha obliqua*.

O cultivo de frutas comerciais em larga escala também influencia a distribuição geográficas das moscas-das-frutas (MALAVASI, 2009), já que as áreas cultivadas proporcionam um ambiente com disponibilidade de recursos alimentar, sexual e de oviposição. A presença de moscas-das-frutas e sua infestação em frutos comerciais é acompanhada de perto por monitoramento, porém, pouco se conhece sobre a interação desses insetos com plantas não comerciais (URAMOTO *et al.*, 2005)

como a amendoeira-da-praia, e sobre as características químicas da planta envolvidas nessa interação (ALUJA & MANGAN, 2008).

Controle de moscas-das-frutas

O controle de moscas-das-frutas pode ser realizado por três principais abordagens. O controle biológico, que é feito com o uso de inimigos naturais tais como parasitóides (*Diachasmimorpha longicaudata*) ou agentes patogênicos como fungos (*Metarhizium anisopliae*) e bactérias (CARVALHO, 2005; FONSECA *et al.*, 2015), o controle com isca-tóxica que associa um atrativo alimentar com um inseticida, e o controle com inseticidas, produtos químicos que irão atuar sobre os diversos estágios de desenvolvimento da praga (SALLES, 1995). No Brasil, esse controle vem sendo realizado prioritariamente com o uso de produtos fitossanitários, o que eleva consideravelmente os custos da produção, além de gerar riscos de contaminação ambiental (CHAIM *et al.*, 2003). O controle químico é baseado na aplicação de iscas tóxicas e/ou na pulverização de inseticidas fosforados, compostos caracterizados por terem elevada toxicidade e período de carência, além de baixa seletividade aos inimigos naturais (SCOZ *et al.*, 2004; NAVA & BOTTON, 2010).

Visando atender o perfil atual do consumidor nacional e principalmente estrangeiro, que aumentou o consumo de frutos *in natura*, buscando principalmente alimentos livres de agrotóxicos, devido ao aumento de conscientização sobre os riscos causados por estes à saúde e ao meio ambiente, vem-se pesquisando novas técnicas de controle e supressão populacional de tefritídeos que permitam alcançar esses objetivos. Diante de tal contexto é que surge o Manejo Integrado de Pragas (MIP) como uma alternativa econômica e ecologicamente mais viável de suprimir as pragas no campo (KOGAN, 1988; CARVALHO *et al.*, 2000). O MIP consiste no controle de pragas através da manutenção e aumento dos fatores naturais de mortalidade da mesma (PICANÇO, 2010). O manejo reúne diversas técnicas, como o controle cultural (rotação de culturas), biológico (uso de inimigos naturais), comportamental (uso de armadilhas e plantas repelentes), genético (liberação de machos estéreis), varietal (uso de variedades resistentes aos insetos) e químico (uso de inseticidas). A base do MIP é formada por condições ambientais, nível de controle, monitoramento e biologia/ecologia da praga. O conhecimento dessas informações irá orientar a tomada de decisões sobre qual conjunto de técnica é mais viável e eficaz para uma determinada cultura (GALO *et al.*, 2002; FRANZONI, 2018). Para realizar a

implantação do MIP em uma cultura é indispensável a realização de monitoramento da área em questão, para que se possa obter dados seguros sobre quais pragas e doenças incidem no local, qual a dinâmica populacional e seus inimigos naturais (FILHO *et al.*, 2009).

O sucesso no monitoramento de tefritídeos depende diretamente da disponibilidade de bons atrativos e armadilhas que permitam avaliar de forma segura a abundância e flutuação populacional da espécie-praga (SOUZA-FILHO, 2002; RAGA *et al.*, 2006; LASA *et al.*, 2014). O uso dos semioquímicos, tais como os cairomônios e feromônios são uma excelente ferramenta para dar suporte à aplicação do MIP, pois podem ser utilizados para monitoramento da densidade populacional da praga, monitoramento de outras infestações associadas, controle por captura de adultos, confusão sexual e associados a iscas tóxicas e/ou armadilhas, de forma que possa reduzir os danos econômicos (BLASSIOLI *et al.*, 2003; GALDINO & RAGA, 2016).

Fruticultura brasileira

O Brasil é o terceiro maior produtor de frutas do mundo, com uma produção de 44,3 milhões de toneladas em 2020, ficando atrás apenas da China e Índia (GERUN *et al.*, 2019; KIST *et al.*, 2021), entretanto, ocupa apenas a vigésima sexta posição no ranking de exportações (NAVA, 2019). Segundo o Plano Nacional de Desenvolvimento da Fruticultura - PNDF (2017), aproximadamente 2,3 milhões de hectares são utilizados como área de cultivo para frutas no país, promovendo diversas vagas de emprego direto e indireto que são de grande importância para o contexto social e econômico nacional (FACHINELLO *et al.*, 2011). Fatores como boas condições climáticas e disponibilidade de grandes áreas para cultivo tornam a fruticultura um dos principais setores do agronegócio nacional (TREICHEL *et al.*, 2016; NAVA, 2019). Porém, é necessário explorar seu potencial no setor de exportações, melhorando a qualidade das frutas e adotando boas práticas de produção, que atendam as demandas de restrição sanitária, como também os limites de resíduos de agrotóxicos impostos pelos países importadores, em especial a União Europeia que é o principal destino da produção nacional de frutas (CARVALHO *et al.*, 2019).

Apesar de enfrentar dificuldades no processo de exportação, o setor vem crescendo e se aproximando do objetivo de arrecadar US\$ 1 bilhão de dólares em vendas ao ano. Segundo a Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de

Frutas e Derivados - ABRAFRUTAS em 2019 foram exportadas 980 mil toneladas de frutas, o que representou um aumento de 16% sobre os valores do ano anterior, totalizando uma receita de US\$858 milhões de dólares (CARVALHO *et al.*, 2019). Segundo dados do primeiro semestre de 2021, as principais frutas exportadas segundo classificação baseada nos valores de arrecadação, foram: manga (US\$79.987.120), maçã (US\$69.837.279), limão (US\$63.173.546), melão (US\$52.961.560) e uva (US\$46.947.744) (AGROSTAT/MAPA, 2021). A produção nacional de frutas está concentrada em oito estados, são eles: São Paulo (40,5%), Bahia (13,0%), Minas Gerais (6,9%), Rio Grande do Sul (5,1%), Pará (4,4%), Santa Catarina (3,6%), Paraná (3,5%) e Pernambuco (3,2%) (GERUM *et al.*, 2019). O Vale do São Francisco aparece como principal polo de produção de frutas no país, sendo responsável por quase toda produção de mangas e uvas enviadas para exportação (CARVALHO *et al.*, 2019).

Um dos maiores impasses que o Brasil enfrenta na ampliação do mercado de exportação de frutos *in natura* são as barreiras quarentenárias impostas pelos países importadores que visam a proteção contra a introdução e disseminação de pragas, dentre elas, principalmente as moscas-das-frutas, o que as tornam um grande obstáculo econômico (MALAVASI, 2000; PINHEIRO *et al.*, 2009). Diante desse cenário, os semioquímicos surgem como uma alternativa de controle comportamental para a atual demanda do setor agrícola, que busca uma produção livre de pragas, mas que também atenda os níveis de resíduos de agrotóxicos estabelecidos pelos consumidores (WITZGALL *et al.*, 2010; DAMOS *et al.*, 2015).

Comunicação química

A ecologia química é uma área de estudo interdisciplinar que envolve os aspectos ecológicos e químicos da interação entre os indivíduos, e da interação deles com o meio ambiente (TRIGO *et al.*, 2000). Os insetos são capazes de se comunicar através da interpretação de sinais visuais, mecânicos (acústico e tácteis) e químicos (LEWIS, 1984; GREENFIELD, 2002). A comunicação química ocorre através dos semioquímicos, também denominados como sinais químicos, são compostos que quando presente no ambiente são capazes de incitar uma alteração comportamental e/ou fisiológica no indivíduo receptor (ZARBIN, 2001; ZARBIN & RODRIGUES, 2009). Outra terminologia usada para esses compostos é a de infoquímicos, proposta

por Dicke e Sabelis (1988), em que a classificação é baseada nos custos e benefícios da interação para ambos os organismos, atualmente utilizada na subclassificação dos aleloquímicos. A comunicação estabelecida através desses compostos químicos, geram diversas respostas comportamentais nos insetos, como fuga, defesa contra predadores, encontro de alimento, parceiro para cópula e local para oviposição.

Os semioquímicos são classificados em dois grupos: feromônios e aleloquímicos (Figura 6). Os feromônios são mediadores de comunicação intraespecífica, sendo assim espécie-específico. Já os aleloquímicos são mediadores de comunicação interespecífica (ZARBIN & RODRIGUES, 2009).

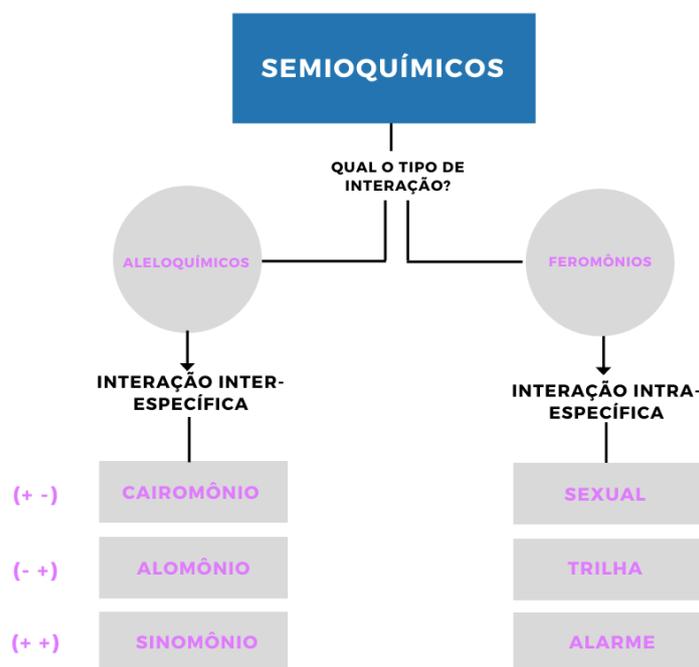


Figura 6 - Esquema da classificação dos semioquímicos.

Fonte: Adaptado de Zarbin *et al.*, 2009.

Os feromônios podem ser do tipo preparador e desencadeador. O preparador atua na fisiologia e desenvolvimento do animal de forma prolongada, já o desencadeador, gera mudanças comportamentais rapidamente, podendo atuar como alarme, atraente sexual, dispersão, agregação, marcação de trilha, marcação de território etc. (VILELA & DELLA LUCIA, 2001; CORRÊA & SANTANA, 2001). Em machos do gênero *Anastrepha*, o feromônio liberado pelos mesmos atuam na atração de fêmeas e machos durante o comportamento de agregação (*leks*) e corte, sendo assim, classificado como agregador (LIMA-MENDONÇA *et al.*, 2014). É possível observar o uso de feromônio de marcação liberado após a oviposição por moscas-das-frutas

(Feromônio Marcador de Hospedeiro - HMP), que indica para as fêmeas coespecíficas que o fruto já está infestado, levando essas a evitar o mesmo sítio de postura devido a competição larval e riscos para o desenvolvimento saudável da prole (DÍAZ-FLEISCHER *et al.*, 2000; EDMUNDS *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2012; BIRKE *et al.*, 2013; BENELLI *et al.*, 2014). Um fato interessante, é que esses compostos também podem ser reconhecidos por outras espécies do mesmo grupo, caso observado no trabalho com *A. ludens*, *A. obliqua* e *A. serpentina* (ALUJA & DÍAZ-FLEISCHER, 2006), e nessas situações o composto seria classificado como um aleloquímico, por intermediar a comunicação entre espécies distintas. Os aleloquímicos possuem uma subclassificação de acordo com os efeitos para as espécies envolvidas na interação. Os cairomônios são compostos que beneficiam apenas a espécie receptora, comumente são sinais utilizados na localização de hospedeiros e presas, os alomônios são compostos que beneficiam apenas o emissor, como os de defesa e os sinomônios são compostos que beneficiam ambos (FRANCKE & SCHULZ, 1999; ZARBIN & RODRIGUES, 2009). Uma classe de aleloquímicos com raros casos, são os apneumonios, compostos emitidos por uma fonte não viva, causando resposta comportamental benéfica no indivíduo receptor, porém, prejudicando as demais espécies que possam estar associadas a essa fonte (EL-GHANY, 2019).

As plantas hospedeiras liberam substâncias químicas voláteis que atuam como atrativos para os insetos, levando a efeitos distintos no comportamento, tais como: efeito arrestante, que para ou torna lento o movimento do animal; excitante, que induz a oviposição; e o estímulo alimentar, que promove a alimentação (RAGA & GALDINO, 2016). Esses compostos químicos podem ser liberados por estruturas diversas da planta como folhas, frutos ou flores. A composição dos voláteis possui uma variação na sua quantidade e concentração a depender do estágio fenológico que a planta se encontra, influenciando a percepção e resposta comportamental dos insetos que a utilizam como recurso (MACKU & JENNINGS, 1987; DÍAZ-FLEISCHER *et al.*, 2000). Frutos verdes possuem maior concentração de álcoois e aldeídos, enquanto os maduros possuem mais ésteres, processo intensificado pela ação de microrganismos (MACKU & JENNINGS, 1987; NOUT & BARTELT, 1998). Os atrativos do tipo alimentar, podem ser elementos nutritivos de plantas ou elementos secundários sem função fisiológica conhecida, tais como terpenos, glicosídeos, fenóis, alcaloides etc., (GALLO *et al.*, 2002).

Para essas espécies de moscas-das-frutas, assim como para os demais insetos holometábolos, a seleção da planta hospedeira para oviposição é uma etapa de grande importância para o ciclo de vida e manutenção da população, pois o desenvolvimento das larvas e sobrevivência de uma prole com condições de dar sequência a espécie depende diretamente dos recursos nutricionais provenientes do hospedeiro selecionado pela fêmea, dada a impossibilidade do imaturo obter outra fonte nutricional (SINGER, 1986; ZUCOLOTO, 2000; WETZEL *et al.*, 2016). O estudo dos aspectos comportamentais associados ao encontro e avaliação do hospedeiro torna-se então de grande importância para compreensão da interação entre insetos e plantas (JOACHIM-BRAVO *et al.*, 2001).

Estão entre os aspectos associados a escolha do fruto hospedeiro pela fêmea no momento da oviposição, a cor, a forma, o tamanho, o estágio de maturação, a presença de outras posturas e compostos voláteis liberados pela planta, sendo esse último um dos mais importantes (EDWARDS & WRATTEN, 1981; ALUJA & PROKOPY, 1992; MCINNIS, 1989; SCHEIRS & DE BRUYN, 2002). Os voláteis liberados pela planta hospedeira podem ser incorporados pelos insetos durante seu desenvolvimento no fruto, alimentação ou inalação, e podem atuar como percussores do feromônio sexual de machos, além de terem efeito sinérgico de atração para fêmeas quando associados ao feromônio (LANDOLT, 1997).

Adultos de tefritídeos são capazes de identificar compostos voláteis da planta hospedeira a uma grande distância, o que permite a localização e o direcionamento até a planta (ALUJA & PROKOPY, 1992). Após localizar o fruto hospedeiro, voláteis de deterrência ou atração presente no fruto irão influenciar no uso do mesmo como local de oviposição, assim como acontece na alimentação dos adultos (MEDEIROS *et al.*, 2008; IOANNOU *et al.*, 2012). Muitos tefritídeos possuem preferência por frutos semi-maduro ou totalmente maduros para oviposição por eles possuírem um bom nível nutricional para desenvolvimento dos imaturos, além de baixo teor de metabólitos secundários (BIRKE & ALUJA, 2018). Os voláteis de maior relevância envolvidos nessa sinalização podem ser subdivididos em três categorias: 1- voláteis liberados por folhas e frutos verdes, de qualquer espécie de planta; 2 - voláteis emitidos por frutos em maturação e 3 - feromônios sexuais masculinos, voláteis de frutas podres e outras fontes de alimento, além dos voláteis específicos associados a interação com espécies de moscas-das-frutas que apresenta especialização de hospedeiros (ALUJA & MANGAN, 2008).

Existe uma grande variedade de compostos voláteis liberados pelas espécies hospedeiras de tefritídeos, sendo principalmente terpenóides, álcoois, aldeídos, ésteres, fenilpropanoides, ácidos e compostos de enxofre (QUILICI *et al.*, 2014). O trabalho desenvolvido por Siderhurst e Jang (2006) encontrou a presença dos compostos, acetato de geranila, acetato de etila, metil-eugenol, hexanoato de etila, acetato de linalila que geraram respostas de atratividade para *Bactrocera dorsalis*.

A percepção dos voláteis liberados pelas plantas e por outros organismos ocorre por meio das suas antenas, estrutura presente na região da cabeça que é especializada na captura estímulos olfativos e mecânicos, assim como, na interpretação desse estímulo químico, sendo capaz de discriminar a composição, isomeria e concentração de uma mistura (MALO *et al.*, 2005; MORAES *et al.*, 2008). Essa percepção ocorre por meio de sensilas presente nas antenas, mas também é encontrada em menor número em outras regiões do inseto, como maxila, palpos labiais, tarsos e ovipositor (ZACHARUK, 1980; BRUYNE & BAKER, 2008). As sensilas presentes em uma antena podem ser quimiorreceptoras, termorreceptoras, higrorreceptoras e mecanorreceptoras (GUIDOBALDI *et al.*, 2014). As sensilas quimiorreceptoras possuem cutícula porosa que atuam no reconhecimento, captura de sinais químicos e transmissão da resposta aos neurônios sensoriais olfativos - OSNs, através do transporte realizado por moléculas de ligação de odorantes - OBDs (ZACHARUK, 1980; STENSMYR, 2004; HANSSON & STENSMYR, 2011; ZHENG *et al.*, 2014; REINECKE & HILKER, 2018). A grande sensibilidade da antena dos insetos na percepção de compostos tornou possível o uso dessa estrutura em bioensaios de eletroantenografia - EAG, que posteriormente foi associado ao detector GC - DIC permitindo identificar quais substâncias geram resposta de despolarização na antena e que podem ter potencial de atividade biológica através de análise por CG -EAG para serem utilizadas como semioquímicos (MILET-PINHEIRO *et al.*, 2015; YEW & CHUNG, 2015).

A identificação de cairomônios da planta hospedeira que possuam efeito de atração e/ou sinergismo sobre as espécies praga são de extrema importância para aplicação de semioquímicos no manejo integrado de pragas (MIP), uma abordagem que gera menos impactos ambientais por usar compostos que serão aplicados em pouca quantidade, que se degradam naturalmente, atóxicos, não poluentes e específicos para espécies-alvo, sendo assim, não afeta os demais insetos associados ao

sistema, mantendo o equilíbrio ambiental (GOULART, *et al.*, 2015; RIFFEL & COSTA, 2015; SEGURA *et al.*, 2018).

Planta Hospedeira

A amendoeira-da-praia (*Terminalia catappa* Linn) pertence à família Combretaceae, classe Magnoliopsida, é conhecida popularmente como chapéu-de-sol, sete copas, castanheira, guarda-sol etc. Essa espécie é originária da Ásia e está distribuída especialmente na Índia, Filipinas e Indonésia, mas possui ampla distribuição em regiões de clima tropical e subtropical, principalmente em áreas litorâneas da América Central e do Sul, como também em ilhas do Caribe. No Brasil, essa espécie exótica se encontra bem adaptada a região costeira do Nordeste devido a sua resistência a salinidade, ventos fortes, alta luminosidade e escassez de água doce (LORENZI, 2003; RICHARDSON & REJMÁNEK, 2011; TANG, 2012; MARQUES *et al.*, 2012). As árvores são de grande porte com tamanho médio de 25 a 45 metros de altura, folhas grandes e copa ampla e densa. O fruto é classificado como carnosos e indeiscentes, possui coloração variando entre verde a vinácea, e o período de frutificação no Brasil ocorre entre os meses de novembro e março (THOMSON & EVANS, 2006; IVANI *et al.*, 2008). A avaliação físico-química da composição nutricional do fruto indicou riqueza de lipídeos (52,85%) e proteínas (37,99%), e baixo percentual de carboidratos (3,56%) (DE SOUZA *et al.*, 2016).

Diversos estudos vêm apontando a associação entre as moscas-das-frutas e a amendoeira-da-praia, tanto no Brasil quanto em outros locais do mundo. O estudo de Nascimento e Carvalho (2000) traz que *C. capitata* se sobrepôs as espécies de *Anastrepha* na área urbana da região do Vale do São Francisco (Juazeiro/Petrolina) devido a presença da amendoeira-da-praia. Alvarenga e colaboradores (2021) também relataram a presença de *C. capitata* em frutos da amendoeira coletadas em três cidades de Minas Gerais. A mesma interação foi observada na área urbana de Aquidauana - MS por Rodrigues e colaboradores (2006). No estado de São Paulo há registro realizados por Raga (2005) da presença de *C. capitata* e *A. fraterculus* associadas a essa planta. No estado do Amazonas a espécie registrada foi a *A. obliqua*, segundo Silva (1993). Em uma publicação recente Rasolofoarivao e colaboradores (2021) relataram o uso da amendoeira como planta hospedeira para a *Bactrocera dorsalis* em Madagascar. A interação entre *B. dorsalis* e *T. catappa* foi estudada por Siderhurst e Jang (2006a,b) por meio de uma abordagem química com o uso de

voláteis do fruto testados em fêmeas pelos bioensaios de GC-EAG, túnel de vento e olfatometria.

Produtos comerciais como atrativos para moscas-das-frutas

O monitoramento de uma cultura é uma prática indispensável para que se possa obter dados seguros sobre quais pragas e doenças incidem no local, qual a dinâmica populacional e a eventual presença de inimigos naturais (FILHO *et al.*, 2009). Essas informações servirão de base para o planejamento, execução e avaliação da eficácia do manejo de pragas (MENDONÇA *et al.*, 2003). O sucesso no monitoramento de tefritídeos está associado a disponibilidade de bons atrativos e armadilhas (RAGA *et al.*, 2006; LASA *et al.*, 2014). As armadilhas mais comuns nessa prática são a McPhail, Jackson, adesiva e Steiner (SOBRINHO *et al.*, 2001). O modelo McPhail usa atrativo no seu interior, normalmente são atrativos alimentares como proteína hidrolisada, suco de frutas, melão de sorgo, melão de cana, vinagre de vinho, vinagre de laranja, mas também pode ser atrativo sexual (LIMA *et al.*, 2001; NAVA & BOTTON, 2010; ARIOLI *et al.*, 2018). Dentre os atrativos comerciais disponíveis no Brasil, estão o Bioanastrepha®, Biofruit®, Cera Trap®, Anamed®, Gelsura®, Flyral®, Isca Samaritá® e Torula® (ARIOLI *et al.*, 2018). A prática de monitoramento deve ser realizada com o uso de atrativos efetivos, confiáveis e de baixo custo (SCOZ *et al.*, 2006). Além de atuarem como atrativos para o monitoramento, esses compostos podem ser associados a iscas tóxicas, agindo como uma ferramenta de controle (KOVALESKI *et al.*, 2000). Frente a necessidade de reduzir o uso de agrotóxicos nas plantações, vem-se pensando em métodos alternativos de controle, como o uso de extratos com atividades inseticidas (BALDIN *et al.*, 2007). Esses extratos podem ser produzidos por diversos métodos de extração, incluindo a maceração do substrato vegetal e extração com solvente orgânico de polaridade variada (PAVELA, 2016). O ANAMED® (ISCA), é um exemplo de atrativo de moscas-das-frutas que possui em sua composição extratos vegetais de frutas e estimulantes de alimentação (BOTTON *et al.*, 2012), indicando que a associação com compostos da planta hospedeira potencializam a eficácia de atratividade.

Os extratos são preparações obtidas de material vegetal ou animal, que podem estar no estado sólido, líquido ou intermediário (BALOGH, 2011). Já os extratos glicólicos vegetais são produtos do processo de maceração da planta seguida por

extração com um solvente hidroglicólico (DE LIMA *et al.*, 2020). As essências são compostos produzidos de forma artificial que visam imitar o cheiro/sabor de alguma coisa (SCHULTZ *et al.*, 1967). O uso de essência artificial de fruta foi avaliado na captura e monitoramento de *D. suzukii* e obteve bons resultados (KHAN *et al.*, 2019). Diante da importância dos compostos voláteis da planta no processo de orientação das moscas-das-frutas até o hospedeiro (ALUJA & PROKOPY, 1992; MIYAZAKI *et al.*, 2018), o uso de extrato e essência de planta hospedeira são uma alternativa de atrativos que podem ser utilizados sozinhos ou em associação com outros compostos em armadilhas no monitoramento e controle dessa praga.

Técnicas de extração e identificação de compostos voláteis

Os estudos de ecologia química se utilizam das técnicas de extração e identificação para elucidar quais os compostos voláteis são empregados na comunicação química. As técnicas de extração apresentam grande importância na coleta de informações analíticas de qualidade, permitindo o isolamento dos analitos de interesse (RAYNIE, 2006), principalmente em análises de perfil de compostos voláteis, já que esses são encontrados em misturas complexas de baixa concentração (SORIA *et al.*, 2015). A técnica de aeração, também denominada de “*headspace*” dinâmico consiste na passagem de um fluxo de gás inerte de forma contínua pela câmara onde se encontra a matriz (sólida ou líquida) de interesse. Esse gás irá carrear os voláteis liberados pela amostra até o polímero adsorvente contido em um tubo presente na saída do sistema, no qual as moléculas ficarão aprisionadas. A dessorção desses compostos é feita com auxílio de solventes de alta pureza, tais como: hexano, diclorometano, éter (ZARBIN *et al.*, 1999; SORIA *et al.*, 2015). A microextração em fase sólida (*Solid phase microextraction*) – SPME, é uma técnica de extração e pré-concentração de analitos que utiliza uma fibra ótica de sílica fundida revestida por polímeros adsorventes, que irão atuar na extração dos analitos através da imersão da mesma na amostra ou no “*headspace*”. Essa abordagem não utiliza solventes e possui alto poder de concentração, facilitando as análises de compostos em baixa concentração (VALENTE & AUGUSTO, 2000). Após a etapa de extração, inicia-se a identificação dos compostos presentes na amostra. Esse processo é realizado pela técnica de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM). A cromatografia gasosa é aplicada na separação e quantificação dos compostos

presentes na amostra, é amplamente utilizada em diversas áreas de estudo devido a sua sensibilidade e rapidez, que permite a análise de amostras em quantidades diminutas, como é o caso dos semioquímicos (COLLINS *et al.*, 2006). A espectrometria é aplicada na identificação através do uso de dados de ionização da amostra, que gera informações de massa e carga dos analitos posteriormente usada na sua identificação (CHIARADIA *et al.*, 2008).

Técnica de eletroantenografia acoplada a cromatografia gasosa

Os insetos utilizam suas antenas como guia na interpretação de sinais do ambiente, de forma que possa encontrar alimento, parceiros para cópula, hospedeiros, etc. O inovador estudo realizado com o bicho da seda (*Bombyx mori*) foi o pioneiro na aplicação dessa técnica, eles perceberam que seria possível identificar a percepção do inseto aos estímulos olfativo através da antena (ZARBIN *et al.*, 1999). A sensibilidade e acurácia dessas estruturas permitiu o uso das mesmas em bioensaios de eletroantenografia - EAG (*electroantennographic detection*), equipamento que posteriormente foi associado ao cromatógrafo gasoso - GC - EAG (DIC) possibilitando identificar as substâncias que eliciaram resposta da antena (MILET-PINHEIRO *et al.*, 2015; YEW & CHUNG, 2015). A obtenção desses dados ocorre devido as características do equipamento, que divide a amostra em dois fluxos, um sendo direcionado para o DIC e outro para o EAG, como eles ocorrem simultaneamente é possível identificar para qual composto a antena respondeu (ZARBIN *et al.*, 2001).

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Avaliar a atratividade de voláteis do fruto de amendoeira e de extrato e essência de uva para três diferentes espécies de moscas-das-frutas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar o perfil de voláteis liberados pelo fruto da amendoeira-da-praia (*Terminalia catappa*) e a resposta eletrofisiológica dos voláteis desse extrato para fêmeas sexualmente maduras de três espécies de moscas-das-frutas: *A. fraterculus*, *A. obliqua* e *C. capitata*.
2. Identificar e comparar o perfil de voláteis do extrato glicólico de uva, essência de uva e uva (*Vitis vinifera*) e averiguar o potencial de atratividade do extrato glicólico de uva e essência de uva para machos e fêmeas de *A. fraterculus* em bioensaio de arena de vidro.

METODOLOGIA GERAL

Criação artificial de moscas-das-frutas

O material biológico utilizado nos experimentos desse estudo foi proveniente da criação (Figura 7), mantida no Laboratório de Ecologia Comportamental de Insetos (LECI), localizado no Instituto de Biologia, da Universidade Federal da Bahia (UFBA). A linhagem de *A. fraterculus* (morfotipo Brazil-1) é proveniente da criação mantida na Embrapa Clima Temperado, e foi coletada na cidade de Bento Gonçalves - RS (29°10' 15" S, 51°31' 08" O). A fase larval da mesma é mantida em dieta artificial de cenoura, sendo a coleta dos ovos feita com auxílio de um dispositivo de oviposição (TANAKA *et al.*, 1969; FINNEY, 1956).



Foto: Bianca Almeida.

Figura 7 - Criação artificial de moscas-das-frutas.

A criação de *Ceratitis capitata* é mantida em dieta artificial a base de levedura (CARVALHO *et al.*, 1998) e a linhagem usada neste estudo está adaptada em laboratório há aproximadamente 20 anos.

A única criação usada nesse trabalho que ainda é mantida em fruto hospedeiro é a de *Anastrepha obliqua*, proveniente da cidade de Cruz das Almas - BA (12° 39' 11" S 39° 7' 19" O), utiliza-se a manga como substrato de oviposição e criação das larvas. As variedades usadas na criação são Tommy Atkins ou Rosa, nos estágios de maturação verde ou semi-maduro.

Os adultos de todas as espécies utilizadas foram mantidos sob condições controladas de acordo com a metodologia estabelecida pela FAO/IAEA (Seibersdorf, Áustria) (VERA *et al.*, 2006), em gaiolas de polietileno (27 cm x 40 cm x 33 cm) adaptadas com auxílio de tecido “voil”, providas com água e dieta artificial à base de açúcar e extrato de levedura (BIONIS YE MF®, BIORIGIN) na proporção (3:1) (SILVA-NETO *et al.*, 2012).

Coleta de voláteis

Os frutos utilizados na produção do extrato hexânico da amendoeira-da-praia foram coletados no estágio maduro em árvores localizadas no bairro de Ondina, Salvador – BA (12° 58' 16" S 38° 30' 39" O), no período de frutificação da espécie, entre os meses de dezembro de 2019 e janeiro de 2020. Logo após a coleta, os frutos foram levados ao laboratório onde passaram por processo de higienização, primeiro com lavagem por água corrente, seguida por secagem do excesso de água com papel toalha. Posteriormente, foram pesados e separados em porções de 250g, armazenados em potes plásticos com tampa, e por fim, acondicionados no freezer até o momento de uso. Foi necessário armazenar os frutos devido a indisponibilidade de encontrá-los em outros períodos do ano. Essa mesma abordagem foi usada no trabalho de Siderhurst e Jang (2006), que também utilizou a amendoeira-da-praia.

A técnica utilizada para coletar os voláteis dos frutos da amendoeira-da-praia foi *headspace* dinâmico, também denominada aeração (Figura 8) que consiste na passagem de um fluxo de ar sobre a matriz para a captura dos voláteis. Esse sistema foi montado com auxílio de uma cuba de vidro com capacidade de 5L, que possui duas canaletas para manter o fluxo de ar, uma localizada na parte inferior para entrada e outra na parte superior da tampa para saída. O fluxo do sistema foi estabelecido por uma bomba de vácuo compressor (Modelo - CSA - 6,5/SCHULZ S. A®), e mantido no volume de 1L/min com auxílio de um fluxômetro (KEY INSTRUMENTS®) pelo período de 24 horas, com temperatura ambiente ± 25 °C. Inicialmente, ao sair da bomba o fluxo de ar passa por um filtro composto por carvão ativo granulado (1-2mm), peneira molecular e lã de vidro para que o ar do sistema esteja completamente isento de contaminação. Utilizou 250g de amostra para realização dos testes de delineamento do tipo de polímero adsorvente e volume de solvente, e posteriormente,

para produção dos extratos a serem aplicados no bioensaio de EAG utilizou-se 500g de amostra, afim de se obter um extrato com maior concentração de voláteis.



Foto: Autora, 2021.

Figura 8 - Sistema de headspace dinâmico utilizado na coleta dos voláteis dos frutos da amendoeira-da-praia.

Na saída do sistema foi utilizado um tubo com polímero adsorvente (200 mg) do tipo TDU com composição de Tenax TA/Graphitized Carbon/Carboxen 1000 (MARKES INTERNATIONAL®). Esse dispositivo adsorvente foi conectado a uma bomba de vácuo utilizada para retirar o fluxo de ar, configurando um sistema do tipo push-pull. Os compostos retidos no polímero foram eluídos com 1,5 mL hexano com pureza de 95% (UltimAR®). Após eluição, o extrato foi exposto a um fluxo mínimo de nitrogênio (99,9%) com objetivo de concentrar (Figura 9) a amostra para o volume final de 0,2 mL. As amostras foram armazenadas no freezer a -18 °C até o momento de uso nas análises CG-EM e CG-EAG.

Teste para escolha do polímero adsorvente

A princípio foi realizado testes preliminares para escolha do tipo de polímero adsorvente, foram eles: Tenax TA, Tenax GR/Carbopack B e Tenax TA/Graphitized

Carbon/Carboxen 1000 (Figura 10), todos provenientes do mesmo fabricante (MARKES INTERNATIONAL®). No experimento teste foi usado 250g de amendoeira-da-praia, submetidas a aeração por 24 horas, conduzido nos parâmetros citados anteriormente no tópico 3, com fluxo de 1L/min, um tubo de cada modelo foi instalado na saída do sistema, ao fim desse período, realizou-se a dessorção com 1,5 mL de hexano HPLC.

Determinação do volume de solvente

Para determinar o volume de solvente a ser utilizado na produção do extrato, também foi realizado testes preliminares conduzido nas mesmas condições de peso da amostra e parâmetros de aeração do tópico *Coleta de voláteis*. O adsorvente escolhido para esse teste foi o Tenax TA/Graphitized Carbon/Carboxen 1000, por ter apresentado melhor resposta quanto aos demais. Estabeleceu-se três volumes de solventes a serem testados: 1,0 mL, 1,5 mL e 2,0mL para eluição dos compostos retidos no adsorvente após o término da aeração.

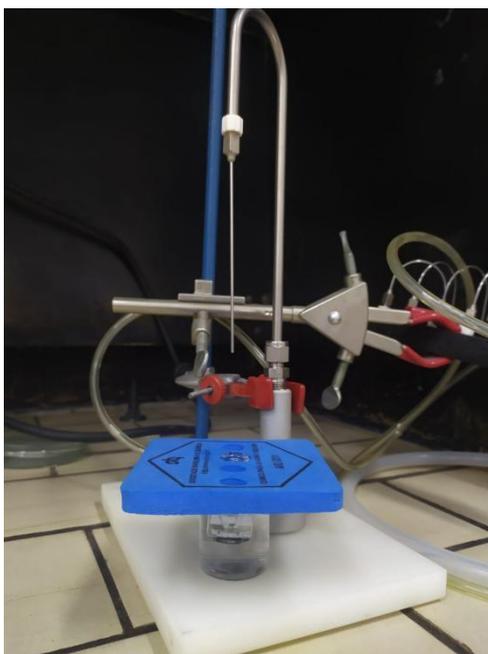


Foto: Autora, 2021.

Figura 9 - Amostra de extrato sob fluxo de nitrogênio para concentração.

Os extratos produzidos nos testes preliminares de escolha do adsorvente e volume de solvente foram analisados por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas CG – EM (MODELO QP2010 PLUS, SHIMADZU®, JAPAN), conforme os parâmetros de análise descritos no tópico *análises*, onde se

avaliou quais tratamentos resultavam em extratos com maior concentração de compostos

Amostras de voláteis para CG – EAG

Para a realização dos testes de eletroantenografia, o extrato foi produzido com 500g de amendoeira-da-praia e apenas um tubo adsorvente Tenax TA/Graphitized Carbon/Carboxen 1000, sob as mesmas condições de fluxo de ar, volume de solvente, tempo de aeração já citadas anteriormente. Os compostos retidos no polímero foram eluídos com 1,5 mL hexano HPLC. Após eluição, o extrato foi exposto a um fluxo mínimo de nitrogênio (99,9%) com objetivo de concentrar (Figura 9) a amostra para o volume final de 0,2 mL. Os extratos foram armazenados no freezer a -18 °C até o momento das análises conduzidas no CG-EAG seguindo os parâmetros de análise no tópico 6. O aumento de massa da amostra aerada para produção do extrato foi necessário – para melhor condução das análises por CG-EAG. Nessa etapa priorizamos por uma amostra com boa concentração de compostos para garantir a possível resposta da antena.

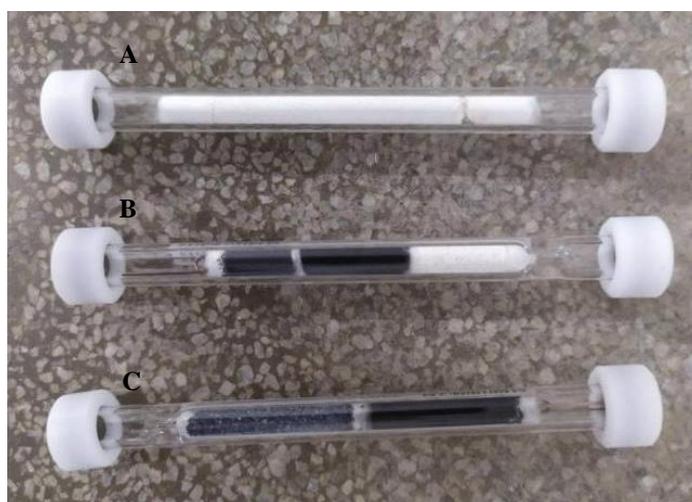


Foto: Autora, 2021.

Figura 10 - Tubos adsorventes tipo TDU. A - Tenax TA; B - Tenax TA/Graphitized Carbon/Carboxen 1000; C - Tenax GR/Carbopack B.

Extração de compostos voláteis por SPME

A técnica utilizada para coletar os compostos voláteis dos produtos comerciais e da amostra de uva utilizados nesse trabalho foi a microextração em fase sólida no modo *headspace* (HS-SPME). Foram estabelecidos três tratamentos: extrato glicólico de uva (PEPTER PAIVA - EXCLUSIVIDADES ARTESANAIS®), essência de uva

(CALIMAN'S COM. DE ARTESANATO®) e uva da variedade Thompson *in natura*. A extração dos compostos da uva foi realizada com o objetivo de comparar o perfil de voláteis do produto natural e dos compostos comerciais de uva.

Para os tratamentos líquidos, 10 mL de amostra foi inserida em um vial de vidro com capacidade total de 20 mL, e para o tratamento sólido utilizou-se 4g de amostra macerada. Adicionou-se ao sistema uma barra de agitação magnética. Após vedado, o *vial* foi inserido em um bloco de aquecimento de alumínio (4 cm de altura por 14 de diâmetro) e mantido sobre uma placa de aquecimento (IKA® C -MAG HS 7) a 80 °C, por 30 min, com agitação de 300 rpm (Figura 11).

A fibra usada para extração dos voláteis foi a Carboxen/PDMS de 75 µm (SUPELCO®). Ao final do período de extração, a fibra foi inserida no injetor do cromatógrafo onde permaneceu por 3 min a 250 °C para que ocorresse a dessorção dos compostos voláteis. Realizou-se três réplicas para cada tratamento.

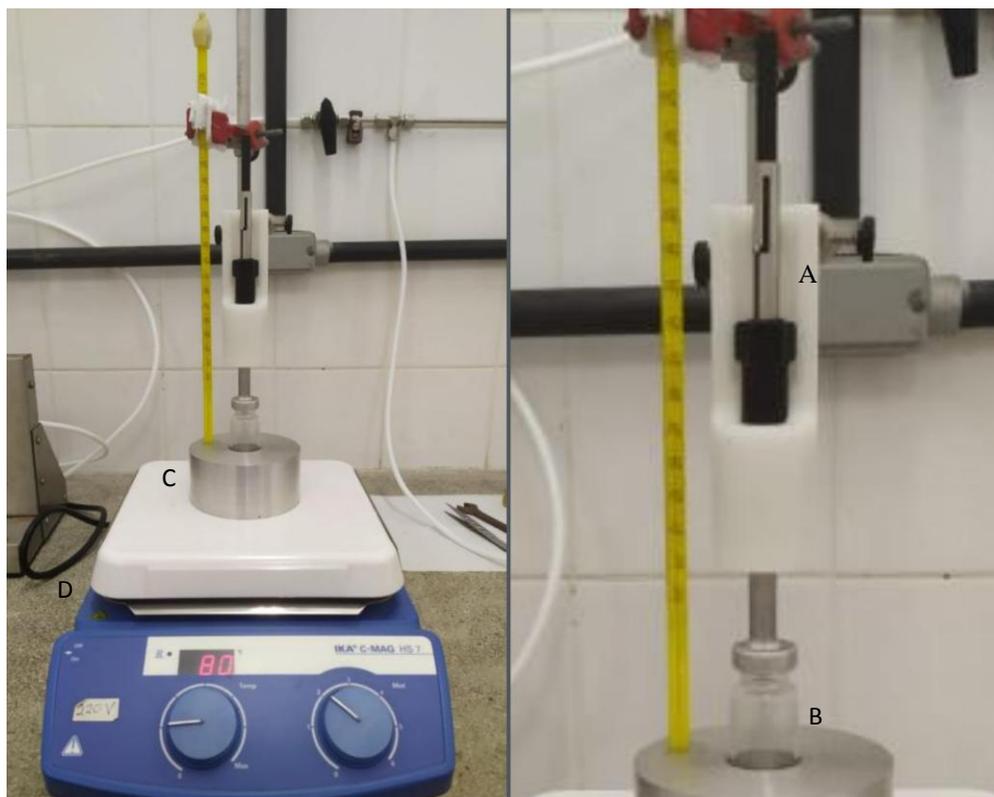


Foto: Autora, 2021.

Figura 11 - Extração de compostos voláteis pela técnica de SPME. A - suporte fibra; B - vial com amostra; C - bloco de alumínio e D - Placa de aquecimento.

Os extratos hexânicos de amêndoa, extrato glicólico de uva, essência de uva e uva Thompson foram analisados por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas CG – EM (MODELO QP2010 PLUS, SHIMADZU®, JAPAN) (Figura 12), utilizando uma coluna capilar modelo HP-5MS (5% - fenilmetilpolissiloxano, 30.0 m x 0.25 mm I.D x 0.25 μm , RESTEK®, BELLEFONTE, USA). Utilizou-se hélio (99,999%) como gás de arraste. O método de análise do extrato de amêndoa-de-praia seguiu os seguintes parâmetros: temperatura inicial de forno a 40 °C (mantida por 10 min), aquecendo a uma velocidade de 0.5 °C min^{-1} até 42 °C, 5.0 °C min^{-1} até 80 °C, 5.0 °C min^{-1} até 100 °C, 8.0 °C min^{-1} até 230 °C e por fim, 25.0 °C min^{-1} até 280 °C, totalizando uma corrida de 43.85 min. Temperatura do injetor 250 °C, modo splitless, fluxo de 0.60 mL/min, corte de solvente de 3 min. Para cada análise foi utilizada uma alíquota de 1 μL da amostra.

Para análise das amostras de SPME utilizou-se o seguinte método: temperatura de forno a 40 °C (mantida por 2 min), aquecimento de 0.5 °C min^{-1} até 60 °C, seguido de aquecimento a 8.0 °C min^{-1} até 175 °C (mantido por 2 min), aquecimento de 30 °C min^{-1} até 280 °C (mantido por 10 min), totalizando uma corrida de 71.88 min. Temperatura do injetor 250 °C, modo splitless (uva Thompson) e split (extrato glicólico e essência de uva), fluxo de 0.80 mL/min, corte de solvente de 5 min. No detector de massa a temperatura da linha de transferência e da fonte de íons foi de 230 °C, e ionização com impacto de elétrons a 70 eV, para ambos os métodos.



Foto: Autora, 2021.

Figura 12 - Cromatógrafo gasoso acoplado a espectrômetro de massa (GC-MS).

Os compostos das amostras foram contabilizados, registrados e identificados segundo comparação de seus espectros de massas e índice de retenção de Kovats (IK), com dados disponíveis na biblioteca NIST 08/NIST 08s e para colunas cromatográficas semelhantes e quando disponíveis com padrões autênticos (SIGMA-ALDRICH®) avaliados com sobreposição da análise do padrão e da amostra. As soluções padrão foram preparadas com hexano grau HPLC, em concentrações de 100, 10, 5 e 1ppm. O índice de Kovats foi calculado através a injeção de uma solução padrão de *n*-alcanos C₈–C₂₀ (SIGMA-ALDRICH®).

Bioensaio de arena

Foram realizados bioensaios de arena com machos e fêmeas da espécie *Anastrepha fraterculus* com objetivo de avaliar o potencial de atração dos compostos comerciais, extrato glicólico e essência de uva, e o efeito do status sexual (virgem ou copulado) do inseto sobre a resposta atrativa. Os testes foram realizados em gaiolas de vidro, denominadas “arena”, com as seguintes dimensões (30cm altura x 30cm largura x 45cm comprimento). Na parte superior a gaiola foi tampada com tecido tipo *voil*, que permite a ventilação do ambiente, assim como o manuseio para inserção dos insetos (Figura 13).



Foto: Autora, 2021.

Figura 13 - Bioensaio de arena, com duas armadilhas, uma contendo o atrativo e outra com o controle, no centro da gaiola um copo com algodão embebido em água.

Para esses testes, foram criadas armadilhas adaptadas com garrafas PET de 250 mL (Figura 14), todas padronizadas na cor verde. Para estipular o volume dos tratamentos a serem testado foi feito um cálculo de regra de três, levando em consideração que em uma armadilha tradicional modelo McPhail de 500 mL, utiliza-se 200 mL atrativo, chegamos ao valor de 10 mL para nossa armadilha adaptada. Nessas gaiolas foram posicionadas duas armadilhas, em pontos equidistantes, uma contendo o tratamento na concentração 100% e outra contendo o controle. Como controle foi utilizado água nos testes com extrato glicólico e álcool nos testes com essência. Essa variação de tratamento controle deu-se pela necessidade de usar um solvente que conseguisse diluir os compostos comerciais, de forma a testá-los em outras concentrações futuramente. As armadilhas foram fixadas na parte superior da gaiola com o auxílio de um barbante. Foi disponibilizado um copo com algodão embebido em água. Em cada arena, foram liberados 10 insetos (macho ou fêmea), com idade entre 5 - 10 dias (virgens) e 15 - 20 dias (copulados), onde permaneceram por 24 horas, com temperatura ± 25 °C, umidade $\pm 70\%$ e luminosidade natural.

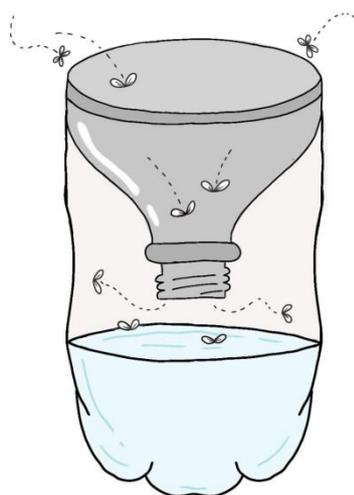


Ilustração: Taís Amorim.

Figura 14 - Desenho esquemático do modelo de armadilha de garrafa PET adaptada utilizada no bioensaio de arena.

Após esse período, as moscas capturadas por cada tratamento eram contabilizadas para posterior análise estatística. Utilizou-se um design experimental de blocos completos, onde cada réplica contava com 3 gaiolas, que foram consideradas como sub-réplicas. Realizou-se 5 réplicas para cada atrativo, sexo e

status sexual. Os dados foram analisados pelo modelo linear generalizado misto (GLMM). A significância foi avaliada através do “*Type II Wald chi-square tests*” ($\alpha=0,05$). As análises foram realizadas no Rstudio (<https://www.r-project.org/>), com uso dos pacotes *lme4* e *car* (BATES *et al*, 2012; FOX *et al*, 2012).

Bioensaio de eletroantenografia

Os testes de eletroantenografia foram realizados com o objetivo de identificar quais os compostos presentes no extrato de amêndoa-de-praia apresentariam resposta de despolarização para as três espécies de moscas-das-frutas testadas (*A. fraterculus*, *A. obliqua* e *C. capitata*).

Para realização desses testes, utilizou-se um cromatógrafo gasoso com detector de ionização de chama (GC - 2010 - PLUS, SHIMADZU®, JAPAN), equipado com coluna capilar modelo DB5-MS (5% - fenilmetilpolissiloxano, 30.0 m x 0.25 mm I.D x 0.25 μm , RESTEK®, BELLEFONTE, USA), acoplado ao detector eletroantegráfico (SYNTECH®, KIRCHZARTEN, GERMANY). O gás utilizado para arraste foi o hélio (99,999%), no fluxo de 0.62 mL/min. As configurações de método para os testes com extrato de amêndoa-de-praia foram as mesmas descritas anteriormente no tópico 4. Em cada análise utilizou-se 1 μL de extrato no modo “*splitless*”. Após injeção da amostra no CG o fluxo do equipamento é dividido em duas partes, uma sendo direcionada ao DIC para detecção dos compostos e a outra direcionada para antena.

A programação do módulo controlador de estímulos de ar (CS - 55) foi 0,5 segundos de duração de pulso, fluxo de pulso e fluxo contínuo a quatro hashtags (####). O módulo controlador de temperatura da linha de transferência (TC - 02) foi mantido a 200 °C. Ao sair do sistema o fluxo de ar passava por um umidificador e seguia para antena.

As fêmeas de todas as espécies utilizadas nesse bioensaio estavam sexualmente maduras, com idade superior a 20 dias. Inicialmente, o inseto a ser testado era levado ao freezer com auxílio de um tubo de ensaio, onde permanecia por aproximadamente 1 minuto, ou até atingir o estado de dormência. Esse procedimento é realizado com intuito de reduzir o estresse fisiológico do inseto e facilitar a remoção da área a ser testada.

Posteriormente, a cabeça do inseto foi excisada do tórax com auxílio de uma pinça, e conectada ao capilar do eletrodo diferente, enquanto a extremidade de uma das antenas foi inserida no outro capilar (Figura 15), que é conectado ao eletrodo diferente, associado ao amplificador universal AC/DC probe (SYNTECH®). Essa conexão é feita com o auxílio de um estereomicroscópio binocular, adaptado para o equipamento. Os capilares foram previamente preparados com solução salina (KCl) na concentração de 1M.

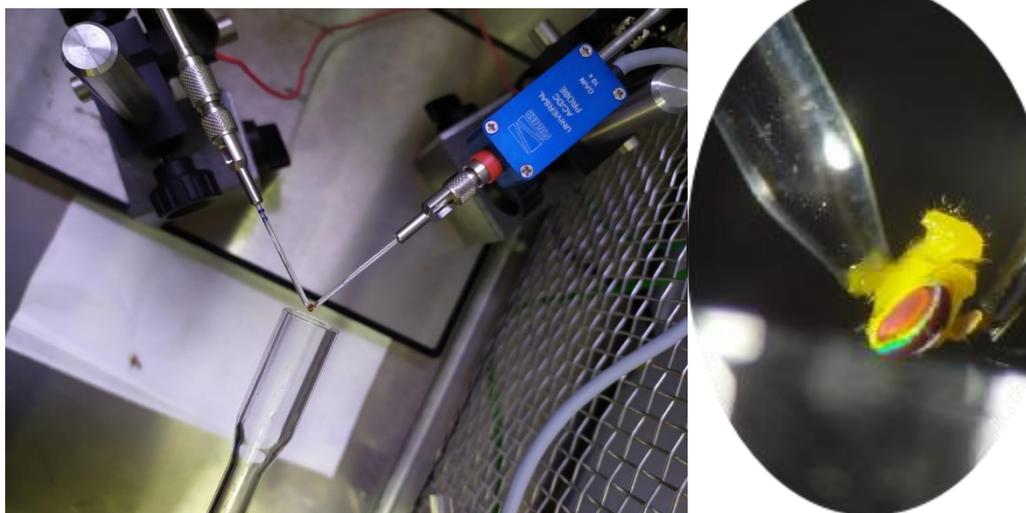


Foto: Autora, 2021.

Figura 15 - Bioensaio CG-EAG; A - Vista superior do sistema de conexão da antena; B - Vista aproximada dos capilares com uma cabeça de moscas-das-frutas conectada a sua extremidade e a ponta da antena conectada ao outro capilar.

A conexão era observada pelo software Autospike (VERSÃO 3.9). Após estabilização da antena, realizava-se um teste PUFF/EAG com 10 μ L de hexano para confirmar se a antena estava responsiva. Se não houvesse resposta, ou se a resposta fosse baixa, a antena era descartada e um novo inseto era preparado para o teste. Cada espécime era testado uma única vez, e a antena esquerda ou direita escolhida aleatoriamente. Após confirmação da viabilidade da antena, a corrida CG-EAG era iniciada. Os compostos químicos dos extratos testados foram considerados ativos quando geraram despolarização em pelo menos três antenas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Testes preliminares de escolha do polímero adsorvente e volume de solvente a serem empregados na produção do extrato hexânico.

Os testes preliminares, realizados com o objetivo de determinar qual polímero adsorvente e qual volume de solvente deveria ser empregado na produção do extrato hexânico da amendoeira-da-praia, demonstraram que o adsorvente Tenax TA/Graphitized Carbon/Carboxen 1000 (MARKES INTERNATIONAL®) (Figura 16) apresentou melhor resposta quanto aos demais na adsorção média de compostos voláteis. O volume de solvente que apresentou melhor resposta foi o de 1,5mL de hexano (Figura 17).

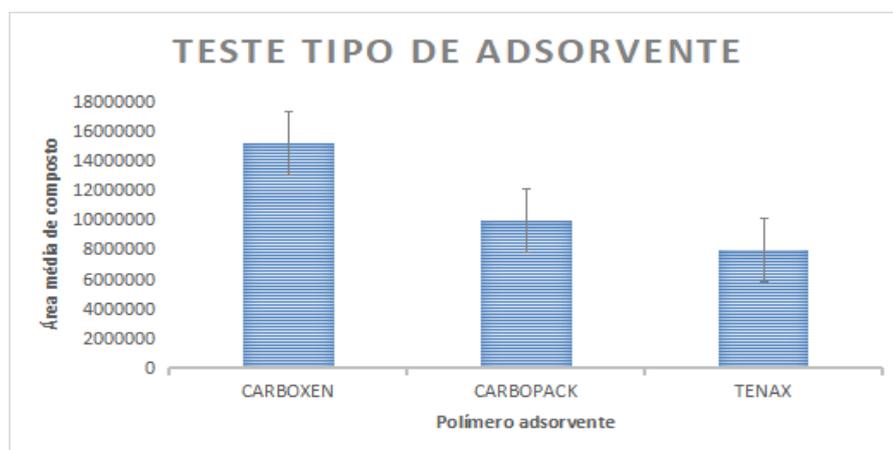


Figura 16 - Comparação da área média de adsorção de compostos de três polímeros adsorventes.

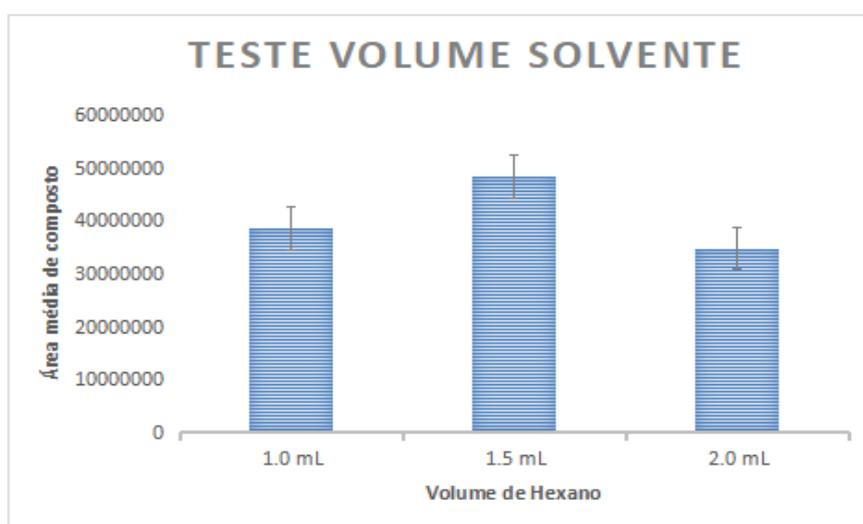


Figura 17 - Comparação da área média de adsorção de compostos com o uso de três volumes distintos de solvente.

2. Caracterização da composição química dos compostos voláteis presente no extrato da amendoeira-da-praia.

A análise por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas CG-EM dos extratos produzidos a partir da aeração de frutos maduros da amendoeira-da-praia (Figura 18), levou a identificação de 72 compostos voláteis (Tabela 1).

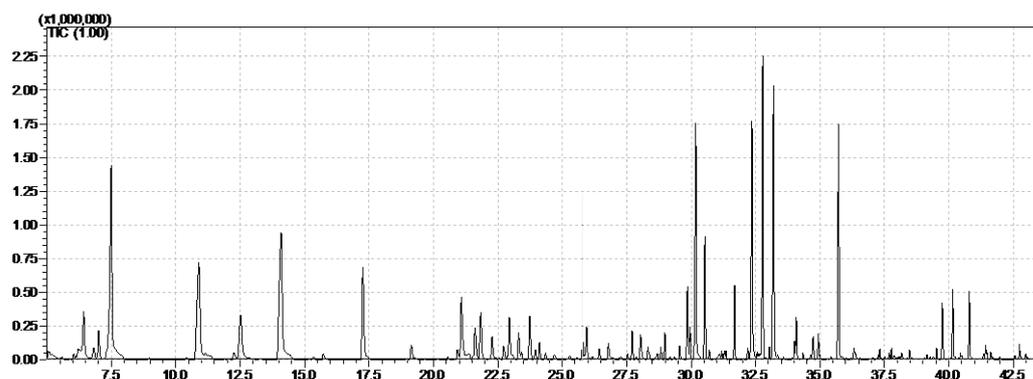


Figura 18 - Cromatograma CG-EM do extrato do fruto maduro da amendoeira-da-praia.

Tabela 1 - Compostos voláteis identificados no extrato de fruto maduro de *Terminalia catappa*.

	Compostos identificados	IK_{exp}	IK_{lit}
1.	1-Penten-3-ol	701	701
2.	Heptano ^a	710	700
3.	Tetrahidro-2,5-dimetilfurano	718	727
4.	Isoprenol	736	736
5.	Isobutirato de etila	764	765
6.	2-Metil-2-buten-1-ol	772	772
7.	Prenol	777	777
8.	3-Hexanona	787	787
9.	2-Hexanona	793	793
10.	Hexenal	802	802
11.	2-Hexenal	848	848
12.	(<i>E</i>)-2-Hexenal	854	854
13.	(<i>E</i>)-2-Hexen-1-ol	870	868
14.	1-Hexanol ^a	873	872
15.	Acetato de isopentila	881	881

16. Acetato de 2-Metil-1-butila	883	883
17. Acetato de 3-Metil-3-butenil	888	888
18. Heptanal ^a	903	902
19. 2-Butoxietanol	910	909
20. Acetato de amila	926	926
21. Acetato de prenila	936	929
22. Benzaldeído ^a	966	966
23. 1-Octen-3-ol ^a	985	985
24. Sulcatona ^a	990	989
25. β -mirceno ^a	992	992
26. Hexanoato de etila ^a	999	999
27. Acetato de hexila	1017	1017
28. (<i>E</i>)-2-Hexenil acetato	1020	1020
29. Limoneno ^a	1027	1027
30. 2-Etilhexanol	1032	1032
31. β - <i>cis</i> -Ocimeno	1041	1041
32. Fenilacetaldeído ^a	1044	1044
33. β - <i>trans</i> -Ocimeno	1052	1052
34. Furano 2-carboxilato de etila	1057	1053
35. Acetofenona	1067	1067
36. <i>Cis</i> -linaloloxide	1075	1073
37. Isoterpinoleno	1089	1089
38. Linalol ^a	1100	1100
39. Nonanal ^a	1105	1105
40. Isoforona	1122	1122
41. (<i>Z</i>)-Neo-allo-ocimeno	1134	1131
42. (<i>E,Z</i>)-2,6-Nonadienal	1159	1159
43. Benzoato de etila	1175	1175
44. Salicilato de metila	1196	1196
45. Decanal ^a	1207	1207
46. Nerol	1232	1232
47. β -Citral	1246	1245
48. Acetato de etilbenzeno	1050	1052

49. <i>Trans</i> -geraniol	1260	1260
50. Citral	1276	1276
51. Acetato de lavandulila	1303	1304
52. Undecanal ^a	1308	1308
53. Acetato de nonila	1312	1314
54. Acetato de citronelol	1357	1357
55. Eugenol	1365	1365
56. Acetato de geraniol ^a	1387	1387
57. Metileugenol	1409	1409
58. Geranilacetona ^a	1457	1456
59. β -Farneseno	1461	1461
60. 2,6-di-terc-butilquinona	1476	1472
61. α -Farneseno	1512	1512
62. Elemicina	1562	1562
63. 1-Heptadeceno	1693	1692
64. (<i>E,E</i>)-Farnesol	1724	1729
65. Farnesol	1751	1749
66. Acetato de (<i>E,E</i>)-Farnesila	1846	1846
67. Palmitato de metila	1929	1929
68. Palmitato de etila	1995	1995
69. Fitol	2100	2103
70. Estearato de metila	2131	2131

IK_{exp} - Índice de Kovats experimental, calculado a partir do tempo de retenção da amostra e de padrões de alcanos C8-C20.

IK_{lit} - Índice de Kovats literatura, verificado na biblioteca NIST e Pherobase.

^a Compostos identificados com padrões sintéticos

Assim como os insetos, as plantas possuem adaptações adequadas para a interpretação e respostas aos estímulos do ambiente no qual está inserida, mesmo que ela não possa se deslocar. Dentre esses mecanismos de interação, estão os compostos orgânicos voláteis (COVs), que podem ser liberados para a atmosfera e para o solo pelas diversas estruturas vegetais, como: flores, frutos, folhas e raízes (DUDAREVA *et al.*, 2006). Os compostos voláteis são substâncias de baixo peso molecular e elevada pressão de vapor, que quando expostos ao ambiente volatilizam rapidamente (SCHIRMER & QUADROS, 2010). A variedade de compostos voláteis que podem

ser emitidos por estruturas vegetais é enorme, sendo que existe uma variação na estrutura química e categoria desses compostos a depender da espécie vegetal, da estrutura vegetal e do estágio de maturação ou desenvolvimento da mesma, além de fatores como o estresse a que possa estar submetida (PICHERSKY & GERSHENZON, 2002; CARDOSO-GUSTAVSON *et al.*, 2014). O resultado da caracterização de compostos voláteis emitidos pelo fruto maduro da amendoeira-da-praia abordado na tabela acima, corrobora com esse fato, pois, a partir da técnica de aeração de apenas uma estrutura (fruto), em um estágio de maturação (maduro) foi possível identificar a presença de 72 compostos, como acetonas, álcoois, aldeídos, hidrocarbonetos, éter, monoterpenos e sesquiterpenos. A decisão de usar o fruto maduro da amendoeira-da-praia foi baseada na indicação de trabalhos anteriores, que demonstraram que o comportamento de oviposição por moscas-das-frutas é mediado por sinais emitidos por frutos nesse estágio de maturação (CORNELIUS *et al.*, 2000).

Muitas das substâncias encontradas nesse estudo são relatadas na literatura como voláteis de outras espécies vegetais, e em hospedeiros e no feromônio de tefritídeos. Os compostos 1-octen-3-ol, heptano, mirceno, β -*trans*-ocimeno, β -*cis*-ocimeno e hexanoato de etila também foram encontrados nas variedades ‘Alphonso’ e ‘Chausa’ de manga (*Mangifera indica*), além de desencadearem resposta ativa em fêmeas de *Bactrocera dorsalis* em ensaios eletrofisiológicos (JAYANTHI *et al.*, 2012). O trabalho de Jayanthi e colaboradores (2014) demonstrou que o composto 1-octen-3-ol tem capacidade de induzir o comportamento de oviposição em fêmeas fecundadas de *B. dorsalis*. Esse mesmo composto tem ação de repelência para *Drosophila suzukii*, pois em testes realizados em campo com frascos contendo solução de 1-octen-3-ol (50%) posicionados próximos as frutas em maturação reduziram a oviposição dessa espécie em mais de 40% quando comparadas com o controle (WALLINGFORD *et al.*, 2016). No entanto, para larvas de *D. melanogaster* a resposta foi de atração (KREHER *et al.*, 2008). O 1-octen-3-ol também foi encontrado por Nojima e colaboradores (2003) em frutos de *Cornus florida* (Cornaceae) com resposta de atração para machos e fêmeas de *Rhagoletis pomonella*.

Outros dois compostos encontrados nesse trabalho e que possuem relato de atratividade para machos e fêmeas de *A. obliqua*, são o mirceno e β -*trans*-ocimeno (MALO *et al.*, 2012). O mirceno presente nos voláteis de frutos de sapota branca (*Casimiroa edulis*) também apresentou atratividade para moscas de *A. ludens* (GONZÁLEZ *et al.*, 2006). A caracterização de voláteis do araçá-rosa (*Psidium*

cattleianum) identificou 204 compostos presentes no aroma concentrado desse fruto (PINO *et al.*, 2001), dentre os quais, onze também foram encontrados nesse trabalho, são eles: linalol, benzaldeído, limoneno, mirceno, 1-penten-3-ol, β -*trans*-ocimeno, (*E*)-2-hexenal, estearato de metila, fitol, fenilacetaldeído e nonanal. Metileugenol, α e β farneseno também foram encontrados em frutos da amendoeira-da-praia por Siderhurst e Jang (2006), os quais eliciaram resposta antenal em fêmeas de *B. dorsalis*. Para *C. capitata* há indicação de atratividade em testes em campo para os compostos (*E*)-2-hexenal, nonanal, 2-hexanona, farnesol, mirceno e prenol (CASAÑA-GINER *et al.*, 2001).

A similaridade de compostos também existe quando se avalia a constituição feromonal desses insetos. O extrato da aeração de machos e das glândulas salivares de *A. obliqua* indicou a presença de 3-hexanona, 1-heptanol, hexanoato de etila, limoneno, linalol, decanal, compostos também presente no extrato da amendoeira-da-praia. Esse mesmo trabalho observou uma semelhança de 14 compostos presente nas glândulas salivares e no feromônio dos machos silvestres originários de frutos da planta hospedeira caramboleira (*Averrhoa carambola*) e de 8 compostos de machos provenientes de fruto de manga (*M. indica*) (GONÇALVES *et al.*, 2013), o que levou os autores a indicar que as glândulas salivares poderiam atuar como local de armazenamento e síntese desses compostos. Um estudo sobre a diversidade na composição feromonal no gênero *Bactrocera*, associou essa variação dos perfis químicos a fatores ecológicos, como a mudança de espécies hospedeiras (SYMONDS *et al.*, 2009). Essa relação entre hospedeiro e produção de feromônio é suportada por indicações de que compostos das plantas utilizado na dieta de larvas e adultos atuariam como precursores na síntese feromonal (NISHIDA *et al.*, 1988). A ingestão do composto metileugenol associada a outros fatores, tem efeito sobre o sucesso de cópula em *B. dorsalis*, devido a importância desse composto como precursor do feromônio de machos (SHELLY *et al.*, 2007). O exposto acima, mostra a importância de pesquisas relacionadas a interação entre moscas-das-frutas e suas plantas hospedeiras através dos semioquímicos, pois, esses compostos são importantes na orientação até o local de oviposição, na busca por alimento, encontro de parceiro sexual para cópula e produção de feromônio sexual, entre outros fatores associados a ecologia desses insetos.

3. Bioensaio de eletroantenografia realizado com fêmeas de *C. capitata*, *A. fraterculus* e *A. obliqua* e extrato da amendoeira-da-praia.

Para a espécie *A. obliqua*, foram identificados 5 compostos que geraram resposta olfativa para fêmeas sexualmente maduras (Figura 19), são eles: 1-hexanol, 1-octen-3-ol, hexanoato de etila, acetato de geranil e geranilacetona (Tabela 2) (Figura 20).

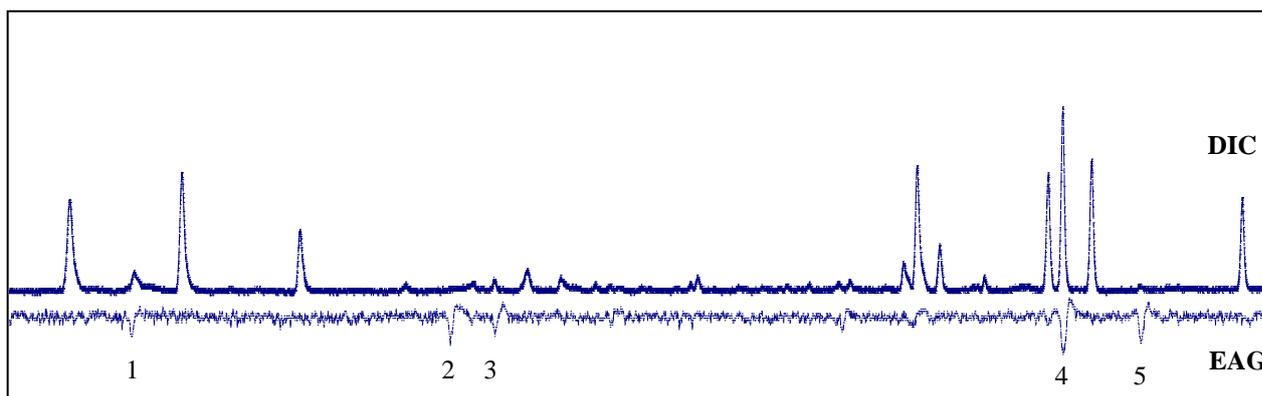


Figura 19 – Resposta de antena de fêmea *A. obliqua* em análises de CG-EAG utilizando extrato dos voláteis dos frutos da amendoeira-da-praia.

Quadro 1 - Compostos voláteis da amendoeira que apresentaram resposta eletroantenografica em fêmeas sexualmente maduras de *A. obliqua* e seus respectivos tempos de retenção (TR) e índice de kovats (IK).

Despolarização	Composto	TR minutos	IK EAG	IK EM	IK Literatura
1	1-hexanol	21.420	878	873	872
2	1-octen-3-ol	26.672	983	985	985
3	Hexanoato de etila	27.405	997	999	999
4	Acetato de geranil	36.916	1379	1387	1387
5	Geranilacetona	38.224	1453	1457	1457

Como pode ser visto no Quadro 1, os cinco compostos oxigenados que desencadearam despolarização em fêmeas de *A. obliqua* pertencem a três classes distintas: álcoois, ésteres e terpenóides.

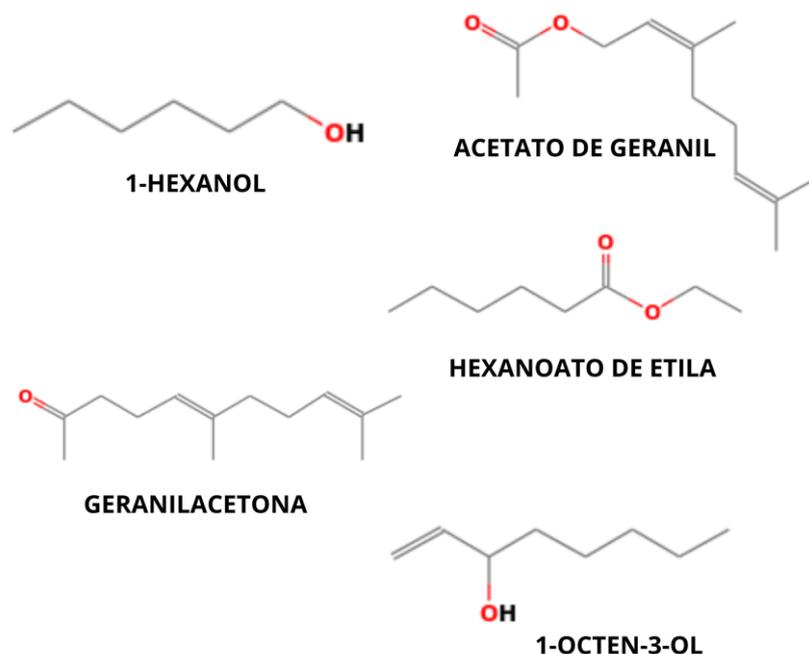


Figura 20 - Estrutura química dos compostos EAG ativos para fêmeas de *A. obliqua*.

O composto 1-hexanol obteve um total de 6 despolarizações no bioensaio de EAG. Ele foi reportado no extrato do fruto de *Argania spinosa* e gerou resposta ativa para *C. capitata* (BAKRI *et al.*, 2006). Ele também foi reportado em testes realizados com compostos voláteis de nectarina, gerando resposta para machos e fêmeas de *C. capitata* (LIGHT *et al.*, 1992). Na literatura, é associado aos voláteis de folhas verdes (GLVs) (RUTHER, 2000; MALHEIRO *et al.*, 2018). A investigação da possível mudança no perfil de voláteis de frutos ocasionada pela infestação por larvas de *C. capitata*, mostrou que o 1-hexanol sofreu um grande aumento na concentração em maçãs infestadas com larvas de terceiro instar, quando comparado com os valores encontrados em frutos não infestados (AL-KHSEMAWEE *et al.*, 2017). Presente também em frutos de mirtilo, o componente tem potencial de atração para *D. suzukii* tanto sozinho, quanto em misturas com outros compostos (URBANEJA-BERNAT *et al.*, 2021). Esse mesmo composto foi encontrado no extrato de frutos maduros de cajá (*Spondias mombin* L.) e na variedade ‘Ataulfo’ de manga (*M. indica*). Quando testados por GC-EAD, desencadearam resposta antenal para ambos os sexos de *A. obliqua* (GALINDO LÓPEZ & MALO, 2004; CRUZ-LÓPEZ *et al.*, 2006). O estudo de Diaz-Santiz e colaboradores (2015) testou a resposta eletroantenográfica de *A. striata* aos voláteis da goiaba (*P. guajava*) e obtiveram 6 compostos ativos, dentre eles o 1-hexanol. O exposto acima mostra que o composto 1-hexanol é encontrado em

diversas variedades de frutos, como a manga, goiaba, cajá, mirtilo, maçã, nectarina e argan. Além disso, ele é associado a outras espécies de moscas-das-frutas como a *A. striata*, *C. capitata* e *D. suzukii*. A resposta de despolarização de machos e fêmeas de *A. obliqua* observados no trabalho de Cruz-López corrobora os dados encontrados nesse estudo, já que ambos obtiveram resposta para o mesmo composto.

O composto 1-octen-3-ol obteve 8 despolarizações nesse bioensaio. Ele foi relatado como atrativo e estimulante de oviposição para fêmeas fecundadas de *B. dorsalis* (JAYANTHI *et al.*, 2012; JAYANTHI *et al.*, 2014). Para moscas-das-frutas do melão (*Zeugodacus cucurbitae*), ele atua na orientação até o fruto hospedeiro (SUBHASH, 2019). Uma mistura com nove compostos voláteis extraídos de frutos de *Symphoricarpos albus*, dentre estes o 1-octen-3-ol, desencadeou atividade comportamental em *Rhagoletis zephyria* em bioensaios de eletroantenografia e túnel de vento (CHA *et al.*, 2017). Esse componente também foi relatado no feromônio de machos de três populações (população de laboratório e selvagem, essa última proveniente de dois hospedeiros distintos, a maçã e a figueira) de *C. capitata*, apesar de não gerar resposta ativa nas fêmeas (VANÍCKOVÁ *et al.*, 2012), teve efeito de aumentar o comportamento de oviposição das mesmas (ANTONATOS *et al.*, 2021). Apesar dos relatos de associação com outras espécies de moscas-das-frutas, ainda não há registro de resposta comportamental desse composto para *A. obliqua* em outros estudos.

O éster hexanoato de etila, também denominado de caproato de etila, é reportado em diversos estudos com tefritídeos, nesse trabalho foi o que teve o menor número de respostas eletroantograficas registradas em fêmeas de *A. obliqua*, um total de 3. Emitido por frutos de goiaba, gerou resposta em ambos os sexos de *A. ludens* (MALO *et al.*, 2005), assim como, em fêmeas de *B. tryoni* (MAS *et al.*, 2020). Está entre os principais ésteres encontrados em três variedades ('Gola', 'Larkana Small Surahi' e 'Larkana Large Surahi') de goiaba (BINYAMEEN *et al.*, 2021). Presente nos voláteis da jaca (*Artocarpus heterophyllus*) e amendoeira-da-praia (*Terminalia catappa*) o composto desencadeou resposta em fêmeas de *B. dorsalis* (SIDERHURST & JANG, 2006; JAYANTHI *et al.*, 2021). Integrante da composição química do feromônio de machos de *Ceratitidis fasciventris*, induziu resposta em fêmeas da mesma espécie, como também em *C. rosa* (BRÍZOVÁ *et al.*, 2015). Um estudo realizado com iscas alimentares demonstrou que hexanoato de etila desencadeou despolarização em quatro espécies (*B. dorsalis*, *B. zonata*, *C. capitata* e *Z. cucurbitae*) de moscas-das-

frutas testadas em EAG, quando expostas a uma mistura de compostos produzida a partir dos voláteis liberados pelos compostos comerciais (BIASAZIN *et al.*, 2018).

Na avaliação realizada com 15 cultivares de manga, observou-se que a proporção de hexanoato de etila nesses frutos aumentou com o grau de suscetibilidade do mesmo, ao ataque de *A. obliqua* e *A. ludens* (ALUJA *et al.*, 2014). Ele também foi reportado nos voláteis de manga (variedade ‘Chausa’), fruto hospedeiro preferencial de *A. obliqua* (JAYANTHI *et al.*, 2012). Também é um componente do feromônio e das glândulas salivares de machos de *A. obliqua* oriundos de frutos de manga e carambola (GONÇALVES *et al.*, 2013; DE AQUINO *et al.*, 2021). Um estudo recente com *A. obliqua*, investigou a atração de machos e fêmeas sexualmente maduros a duas variedades de goiaba e três estágios da maturação do fruto. O resultado observado indicou que não houve preferência quanto às variedades testadas, mas sim quanto ao estágio de maturação, sendo o maduro e semi-maduro mais atrativo que o verde. O extrato obtido a partir do fruto maduro, indicou 6 compostos que estimularam despolarização antenal para ambos os sexos, sendo o hexanoato de etila um desses compostos (CORTÉS-MARTÍNEZ *et al.*, 2021). O resultado de resposta ativa para antenas de *A. obliqua* encontrado nesse trabalho, também foi observado para machos e fêmeas dessa mesma espécie, porém, com outras plantas hospedeiras, o cajá e a manga (variedade ‘Ataulfo’) (GALINDO LÓPEZ & MALO, 2004; CRUZ-LÓPEZ *et al.*, 2006; TOLEDO *et al.*, 2009). Esses dados indicam, que o hexanoato de etila tem potencial como atrativo para tefritídeos, em especial, para *A. obliqua*.

O acetato de geranil é um monoterpeno, e nesse trabalho observou-se um total de 9 respostas de despolarizações para antenas de fêmeas. O mesmo foi encontrado nos voláteis extraídos do feromônio de machos de *A. obliqua* provenientes do fruto da carambola (GONÇALVES *et al.*, 2013) e também nas glândulas salivares e feromônio de machos de *C. capitata*, sendo nesse caso, um dos principais componentes da amostra (BAKER *et al.*, 1985; LANDLT *et al.*, 1992; GONÇALVES *et al.*, 2006). O uso desse composto sozinho e em solução com outros voláteis do feromônio de machos mostrou atratividade em testes com armadilhas em cultivos de café e manga no México, sendo atrativo para ambos os sexos de *C. capitata* (BAKER *et al.*, 1990). Foi observado no feromônio de *R. cerasi* (RAPTOPOULOS *et al.*, 1995), assim como nos voláteis de seu hospedeiro (MATTHEIS *et al.*, 2014). No trabalho realizado com amendoeira-da-praia, o acetato de geranil gerou respostas intensas nas antenas de

fêmeas da espécie *B. dorsalis* (SIDERHURST & JANG, 2006). Alguns trabalhos vêm indicando a presença desse composto no feromônio de *C. capitata*, como citado anteriormente, mas nenhum outro estudo trouxe essa interação pela espécie aqui estudada, o que torna esse resultado bastante interessante, pois esse composto foi o que apresentou o maior número de respostas, como também as mais intensas.

O último composto a desencadear resposta em *A. obliqua* foi a geranilcetona, que apresentou 6 repetições. Segundo Mansourian e Stensmyr (2015), a degradação de carotenóides, compostos responsáveis por dar uma cor vibrante as frutas maduras, produz uma série de voláteis, dentre eles, a geranilcetona, que para as moscas provavelmente deve sinalizar que o fruto está maduro. Esse composto foi encontrado no feromônio da *C. rosa* e eliciou respostas de fêmeas em ensaios eletroantegráficos, sendo o único composto espécie-específico do feromônio dessa espécie, já que os demais componentes também foram relatos para *C. fasciventris* e *C. anonae* (BRÍZOVÁ *et al.*, 2015). Ele também foi encontrado no feromônio de *C. capitata*, além de gerar resposta ativa na antena das fêmeas coespecíficas (VANÍCKOVÁ *et al.*, 2012). É relatado como volátil de planta induzido pela herbivoria (VPIHs), em frutos de pêssigo infestado por *C. capitata* (CANALE & BENELLI, 2014). Não há registro de associação desse composto com moscas-das-frutas do gênero *Anastrepha*, sendo apenas reportado no feromônio de algumas espécies de *Ceratitis*.

O composto benzoato de etila apesar de estar presente na composição do extrato utilizado nos bioensaios, não apresentou resposta ativa, sendo que o mesmo é reportado como atrativo em testes de EAG em dois trabalhos distintos, um com voláteis de goiaba (CORTÉS-MARTÍNEZ *et al.*, 2021) e outro com voláteis de cajá (CRUZ-LÓPEZ *et al.*, 2006), o que levanta a importância de se avaliar não somente o composto químico, como também a sua concentração, já que as antenas são estruturas extremamente sensíveis e capazes de diferenciar um aroma de forma qualitativa e quantitativamente (BRUCE & PICKETT, 2011). Dos cinco compostos ativos observados nesse trabalho para fêmeas de *A. obliqua*, três ainda não possuem relatos na literatura, são eles: 1-octen-3-ol, acetato de geranil e geranilacetona. Os outros dois, 1-hexanol e hexanoato de etila, já possuem relatos de atratividade, sendo assim componentes-chave para o controle com uso de semioquímicos. Tais compostos apresentam potencial de atratividade para serem utilizados futuramente no controle dessas pragas, entretanto, é indispensável que se realizem mais testes em laboratório

como bioensaios de laboratório e em condições seminaturais (gaiolas de campo) e, posteriormente os testes de campo, que possam indicar fatores como quantidade de espécimes atraídos, efeito do sexo e status sexual sob a resposta de atração, tempo necessário para captura, durabilidade do composto sob condições adversas, entre outros fatores. O uso de padrões sintéticos será a base para produção de soluções que nos permita corroborar o resultado obtido com o extrato de voláteis da amendoeira-da-praia.

Para a espécie *C. capitata*, foram identificados 4 compostos que estimularam resposta olfativa em fêmeas (Figura 21, 22 e 23), são eles: 1-penten-3-ol, isoprenol, 2-metil-2-buten-1-ol e prenol (Quadro 3) (Figura 24).

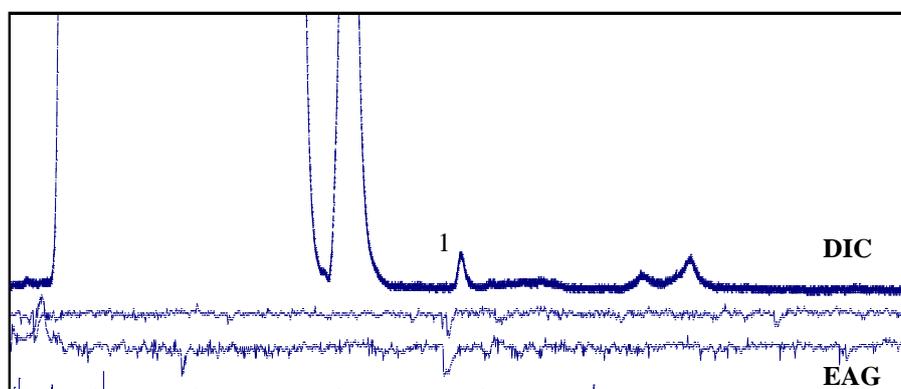


Figura 21 – Registro da despolarização de antena de fêmeas de *C. capitata* em análises de CG – EAG para o extrato dos voláteis da amendoeira-da-praia (pico 1 na linha do DIC), referente ao composto 1-penten-3-ol.

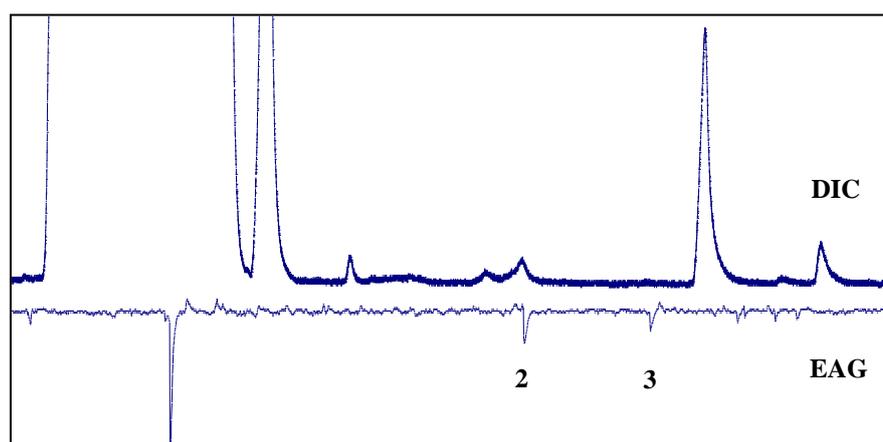


Figura 22 - Compostos voláteis presentes na composição do extrato da amendoeira-da-praia que desencadearam resposta eletroantenográfica para *C. capitata*. Pico 2 e 3 na linha do DIC, compostos isoprenol e 2-metil-2-buten-1-ol, respectivamente.

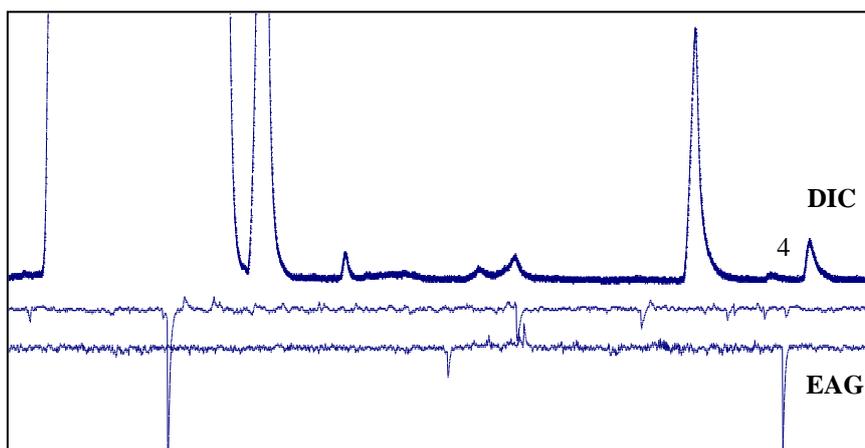
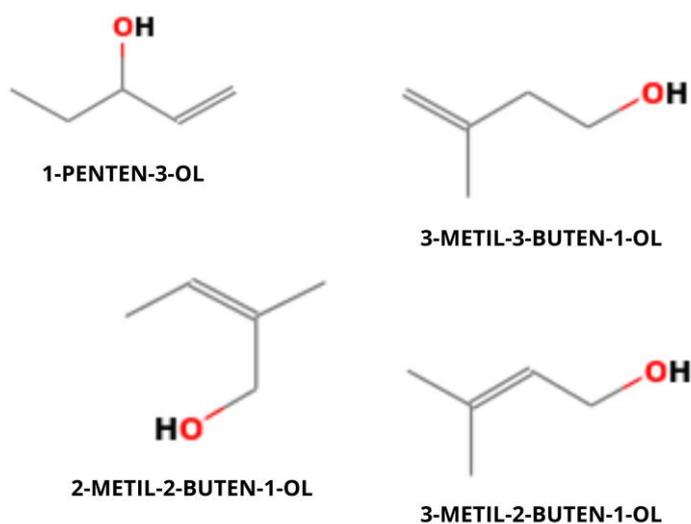


Figura 23 - Compostos voláteis presentes na composição do extrato da amendoeira-da-praia que estimularam resposta antenal em *C. capitata*. Pico 4 na linha do DIC - composto prenol.

Quadro 2 – Compostos voláteis da amendoeira que apresentaram resposta eletroantenografica em fêmeas sexualmente maduras de *C. capitata* e seus respectivos tempos de retenção (TR) e índice de kovats (IK).

Despolarização	Composto	TR minutos	IK EAG	IK EM	IK Literatura
1	1-penten-3-ol	9,355	697	701	701
2	Isoprenol	12,255	744	736	736
3	2-metil-2-buten-1-ol	14,405	774	772	772
4	Prenol	15,022	782	777	777



Fonte: NIST.

Figura 24 - Estrutura química dos compostos EAG ativos para fêmeas de *C. capitata*.

O composto 1-penten-3-ol é um álcool, na avaliação dos voláteis liberados pela manga, foi encontrado em 18 variedades do fruto (PINO *et al.*, 2005). Também foi registrado na composição de frutos de araçá-rosa (*Psidium cattleianum*), abiu-roxo (*Chrysophyllum cainito* L.), mamão (*Carica papaya* L.), jambo-vermelho (*Syzygium malaccense* L.), tamarindo (*Tamarindus indica* L.) (PINO *et al.*, 2002/2003/2004a/2004b). Dentre esses frutos o abiu-roxo (Espírito Santo e São Paulo), araçá-rosa (Alagoas, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Santa Catarina e São Paulo), jambo-vermelho (Alagoas, Espírito Santo e Rio de Janeiro) e o mamão (Bahia, Espírito Santo e Minas Gerais) estão entre os hospedeiros da *C. capitata* aqui no Brasil (ZUCCHI & MORAES, 2021). A associação dessa espécie de moscas-das-frutas com esses hospedeiros, pode ser entre outros fatores, pela capacidade de reconhecer esse composto na composição de voláteis dos frutos, toda via, faz-se necessário uma avaliação dessa possível ligação.

O composto isoprenol também é um álcool, e em alguns estudos, é reportado na composição de voláteis de frutos como a mangaba (*Hancornia speciosa*) (SAMPAIO & NOGUEIRA, 2006), acerola (*Malpighia emarginata*) (PINO & MARBOT, 2001), cajá-umbu (*Spondias* sp.) (NARAIN *et al.*, 2007). Todos esses frutos são hospedeiros de *C. capitata* (ZUCCHI & MORAES, 2021). Esse composto é considerado um cairomônio para o díptero *Lutzomyia longipalpis* (DOUGHERTY *et al.*, 1999). O composto 2-metil-2-buten-1-ol foi encontrado em folhas e frutos de *Vitis vinifera* nos cultivares ‘Shiraz’ e ‘Moscatel de Alexandria’ (WIRTH *et al.*, 2001) e na composição aromática do mamão (SCHWAB *et al.*, 1989). O último composto prenol, também denominado de prenol, foi relatado nos voláteis de tamarindo, jambo-vermelho, em 7 variedades de manga, porém em uma quantidade menor que 0.01 mg/kg (PINO *et al.*, 2004a/2004b/2005).

Apesar desses compostos terem atividade eletrofisiológica, e de serem encontrados em diversos frutos hospedeiros de *C. capitata*, não há relatos de efeito dos mesmos como possível cairomônio dessa espécie, ou de quaisquer outras espécies de moscas-das-frutas, o que é torna tal resposta bastante curiosa, pois já existem diversos estudos com *C. capitata* devido a sua ampla distribuição global e importância econômica, entretanto, nenhum que relate esses compostos como ativos para espécie. Vale destacar que todos os quatro compostos são álcoois e possuem apenas cinco carbonos (Figura 24), sendo compostos extremamente voláteis, saindo

logo nos primeiros 15 minutos de análise no CG-EAG. Esse resultado pode estar associado ao uso de insetos provenientes de uma criação mantida em dieta no laboratório a mais de 20 anos, em todo esse período, nunca houve a inserção de espécimes silvestres, o que pode ter afetado a percepção dos mesmos sobre os voláteis dos hospedeiros, pois as condições de laboratório se diferenciam muito do ambiente natural, podendo alterar o comportamento quando mantidas por longos períodos nessas condições (BRAVO & ZUCOLOTO, 1998). Cabe ressaltar, que o resultado para *A. obliqua* esteve muito próximo do que vem sendo relatado para espécie ou para outras moscas do gênero, e essa criação é mantida sobre fruto hospedeiro preferencial, o que permite a constante exposição de todas as etapas do ciclo de vida aos voláteis da planta. A realização de testes com *C. capitata* silvestre poderá elucidar se realmente há interferência da criação em dieta artificial sobre capacidade desses insetos perceberem os caimônios no ambiente.

Os testes de EAG realizados com *A. fraterculus* não geraram resultados conclusivos quanto a resposta ativa frente ao extrato da amendoeira-da-praia, apesar de apresentar despolarizações, não houve repetição de resposta nesses compostos, o que impossibilitou a inferência sobre quais seriam os compostos atrativos dessa mistura. Assim como as demais espécies utilizadas nos testes, a *A. fraterculus* foi registrada em associação com a *Terminalia catappa* (SELIVON *et al.*, 2004; HERNÁNDEZ-ORTIZ *et al.*, 2019; ZUCCHI & MORAES, 2021), portanto, é possível que esse resultado seja devido ao estágio de maturação do fruto utilizado na produção do extrato, já que o trabalho de Malavasi *et al.*, 1983 observou a preferência de oviposição dessa espécie por frutos verdes. Entretanto, trabalhos mais recentes relataram a oviposição em frutos verde-maduro e maduro (DE OLIVEIRA *et al.*, 2015; DE SOUSA *et al.*, 2020), obtendo até maior número de oviposição em relação ao fruto verde (DOLORES *et al.*, 2020). Essa variação na escolha do estágio de maturação do fruto hospedeiro pode estar associada às características físicas desses, já que existem mecanismos de resistência diversos a depender da espécie vegetal, como compostos tóxicos, repelentes, espessura da casca devido à presença de fibras e pectina, elasticidade e resistência mecânica, dentre outros fatores (IOANNOU *et al.*, 2012; BISOGNIN *et al.*, 2015; DOLORES *et al.*, 2020). A avaliação da preferência de oviposição de *A. fraterculus* e *C. capitata* em frutas cítricas demonstrou a preferência de ambas por frutos maduros, o que corrobora a ideia de variação por *A. fraterculus* na escolha do estágio de maturação a depender das características do fruto

hospedeiro (DIAS *et al.*, 2017). Ainda no quesito resistência do fruto hospedeiro, fêmeas de *B. dorsalis* apresentaram preferência por frutos semi-maduro e maduros de manga, devido as características de baixa acidez e teor de sólidos solúveis totais (SST), além de maior maciez do pericarpo (RATTANAPUN *et al.*, 2009). Machos e fêmeas dessa espécie responderam eletrofisiologicamente a extratos de guabiroba verde e madura, pitanga verde, araçá verde e maduro (GREGORIO *et al.*, 2010). A partir dos resultados desses trabalhos, é possível observar que há uma certa variação na escolha do fruto hospedeiro, que pode estar associada tanto aos voláteis quanto as características físicas dos mesmo, assim, faz-se necessário a realização de mais réplicas de EAD, utilizando extrato de frutos verdes, semi-maduro e maduros para inferir se realmente não há nenhum composto ativo nos voláteis desse hospedeiro que possa eliciar resposta de *A. fraterculus*, afinal a mesma já foi reportado nesse fruto, sendo assim, deve haver compostos químicos mediando essa interação.

Os cairomônios são peças fundamentais na localização do fruto hospedeiro, local que serve como nicho para as moscas-das-frutas. A capacidade que as espécies polípagas têm de reconhecer diversos hospedeiros influencia diretamente na sua amplitude ecológica, possibilitando-as detectar e responder a recursos distintos de seu nicho. A compreensão dessas diversas respostas olfativas é essencial para a aplicação efetiva de iscas no monitoramento e controle de insetos pragas (BIASAZIN *et al.*, 2019). Apesar de estarem próximas filogeneticamente, *A. obliqua* e *A. fraterculus* apresentaram respostas distintas aos voláteis da amendoeira-da-praia, o que pode estar associado a origem do hospedeiro, o trabalho de Selivon (2000) indicou que o morfotipo *A. fraterculus* sp. 2 oriundo da região sul e sudeste do Brasil eram provenientes em sua maioria de hospedeiros exóticos, enquanto que na região nordeste ocorria o oposto, sendo a maioria encontrada em frutos nativos. Já o trabalho de Bisognin e colaboradores (2015) desenvolvido no sul do país, observou que *A. fraterculus* apresentou preferências por frutos nativos do Brasil. Esses dados mostram o quão complexa é essa relação entre inseto e planta hospedeira, e como diversos fatores ecológicos podem influenciar essa resposta, assim como fatores biológicos como tipo de neurônios sensoriais ou o ajuste diferencial desses para odores relevantes para o nicho (BIASAZIN *et al.*, 2019). Talvez *A. obliqua* tenha maior receptibilidade a frutos exóticos, tal como acontece com *C. capitata*, o que seria um indício do risco de dispersão que essa espécie apresenta. Apesar de possuir similaridade evolutiva com *A. fraterculus*, as respostas apresentada por *A. obliqua*

nesse trabalho se sobrepõe a de outras espécies de moscas-das-frutas como a *B. dorsalis*, *Z. cucurbitae*, *C. capitata* e *D. suzukii*, que são distantes evolutivamente do seu grupo, além de possuir diferenças ecológicas. Entretanto, ainda não se sabe quais fatores levam grupos distintos a compartilharem a detecção dos mesmos compostos voláteis, pois tais semelhanças podem ser devido a ancestralidade comum e conservação de receptores olfativos, assim como, por seleção convergente de linhagens independentes de receptores. Para algumas espécies, a percepção de voláteis pode ser determinada pelo nicho ecológico em substituição a relação filogenética (BIASAZIN *et al.*, 2019). Entretanto, existem poucos estudos que investiguem essas associações, o que levanta a importância de conhecer os aspectos ecológicos e evolutivos associados a percepção dos semioquímicos, principalmente para o sucesso da aplicação desses compostos no controle de pragas.

Os semioquímicos vem se tornando uma importante ferramenta no manejo integrado de pragas (EL-GHANY, 2019), com sucesso no controle e monitoramento de diversos insetos-praga, como: besouro-do-pinheiro (*Dendroctonus ponderosae*) (BORDEN *et al.*, 2008), besouro-japonês (*Popillia japonica*) (PIÑERO & DUDENHOEFFER, 2018), mariposa (*Choristoneura fumiferana*) e (*Batrachedra amydraula*) (RHAINDS *et al.*, 2012; LEVI-ZADA *et al.*, 2018), moscas-das-frutas (*Rhagoletis pomonella*) (MORRISON *et al.*, 2016) e (*Drosophila suzukii*) (WALLINGFORD *et al.*, 2017), flebotomíneo (*Lutzomyia longipalpis*) (SPIEGEL *et al.*, 2005). A aplicação afetiva dos semioquímicos no MIP requer o conhecimento dos compostos químicos ligados a essa comunicação, assim como, do efeito que eles possuem sobre o inseto. Trabalhos que levantem essas informações são essenciais para implementação futura dessa ferramenta no controle e monitoramento das moscas-das-frutas.

4. Caracterização da composição química dos compostos voláteis presentes no extrato glicólico, essência e fruto de uva.

A análise por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas - GC-MS das extrações realizadas pela técnica de SPME do extrato glicólico, essência e fruto da uva, resultou na identificação de 61 compostos voláteis (Tabela 4).

Tabela 2 - Identificação de voláteis de compostos comerciais e fruto de uva a partir da técnica de SPME.

Compostos	IK _{exp}	IK _{lit}	Uva Thompson	Extrato glicólico uva®	Essência uva®
1. Pentanoato de etila	903	902	+	-	+
2. (E,E)-2,4-Hexadienal	911	911	+	-	-
3. Benzaldeído	957	957	-	+	-
4. Hexanoato de etila	1003	1003	+	+	+
5. (E)-3-Hexanoato de etila	1006	1007	-	+	-
6. 2-Etilhexanol	1035	1035	-	+	-
7. (S,S)-Dipropilenoglicol	1040	1037.8	-	-	+
8. (S,P)-Dipropilenoglicol	1049	1046.2	-	-	+
9. Sorbato de etila	1097	1095	-	+	-
10. Heptanoato de etila	1107	1107	+	-	-
11. Nonanal	1111	1110	+	-	-
12. 2-Nonanol	1113	1114	-	+	-
13. Álcool fenetílico	1123	1123	-	+	-
14. <i>p</i> -Menthán-3-ona	1167	1164	-	+	-
15. <i>cis-p</i> -Menthán-3-ona	1174	1174	-	+	-
16. Isomentol	1176	1177	+	+	-
17. Benzoato de etila	1181	1179	-	+	+
18. Isonomentol	1182	1183	+	+	-
19. 1-Nonanol	1186	1186	+	+	
20. Ácido benzoico	1191	1193	-	+	-
21. α -Terpineol	1193	1193	-	+	-
22. Salicilato de metila	1194	1194	-	+	-
23. <i>Trans-p</i> -Menth-8-en-2-one	1196	1197	-	+	-
24. Ácido caprílico	1197	1197	+	+	-
25. Octanoato de etila	1200	1200	+	+	+
26. Decanal	1207	1207	+	+	-
27. 2,5-dimetil-benzaldeído	1209	1208	-	+	-
28. β -ciclocitral	1218	1218	+	+	+
29. Acetato de etilbenzeno	1251	1252	-	+	-
30. Geranonitrila	1262	1260	+	-	-

31. β -acetato de feniletila	1262	1260	-	+	-
32. Salicilato de etila	1273	1272	+	+	-
33. (<i>E</i>)-Cinamaldeído	1274	1274	-	-	+
34. α -Citral	1275	1273	+	-	-
35. Ácido pelargônico	1282	1282	-	+	-
36. Anetol	1287	1286	-	+	-
37. Acetato de mentila	1295	1295	-	+	-
38. Timol	1306	1306	-	+	-
39. Álcool cinamílico	1312	1312	-	-	+
40. Antranilato de metila	1344	1342	+	-	+
41. 1,1,6-Trimetil-1,2- diidronaftaleno	1355	1355	-	+	-
42. 3-Allilguaiacol	1362	1362	-	+	-
43. Anisato de metila	1378	1378	-	+	-
44. Hexanoato de <i>cis</i> -3-hexenila	1384	1382	-	+	-
45. β -Damascenona	1388	1388	+	+	-
46. 1-Tetradeceno	1393	1393	-	-	+
47. Decanoato de etila	1397	1397	-	-	+
48. Vanilina	1405	1405	-	-	+
49. <i>Cis</i> -geranilacetona	1456	1455	+	-	-
50. Metilparabeno	1469	1465	-	+	-
51. <i>p</i> -Benzoquinona-2,6-di-terc- butila	1473	1473	-	+	-
52. A-Isometil ionona	1485	1484.5	-	+	-
53. β -Ionona	1493	1493	+	+	-
54. δ - Decalactona	1501	1501	-	-	+
55. β -Guaieno	1505	1504	-	+	-
56. Hidroxitolueno butilado	1518	1518	-	+	-
57. α -Farneseno	1524	1524	-	+	-
58. β -Germacreno	1561	1561	-	-	+
59. Álcool cariofileno	1583	1575	-	+	-
60. Octissalato	1816	1816.7	+	+	-
61. Homosalato	1901	1903.8	+	+	-

Desse total de 61 compostos, apenas três estiveram presentes nos três tratamentos avaliados, foram eles: hexanoato de etila, octanoato de etila e β -ciclocitral. O primeiro e segundo compostos já foram citados em outras variedades de uva, como a ‘Marcs’, ‘Jumeigui’, ‘Fujiminori’, ‘Yoho’, ‘Kyoho’, ‘Suiho’, ‘Gold finger’, ‘Black swan’ (SILVA *et al.*, 1996; WU *et al.*, 2016), e também em produtos produzidos a partir desses frutos, como vinho tinto, vinho branco (VILANOVA & MARTÍNEZ, 2007; MASA & VILANOVA, 2008; PEDROTTI *et al.*, 2020), e suco de uva (CAVEN-QUANTRILL & BUGLASS, 2006). O β -ciclocitral é um monoterpeneo, assim como os compostos citados acima, também está presente na uva ‘Airén’ e ‘Tempranillo’ (RAMBLA *et al.*, 2016), no vinho (FERREIRA *et al.*, 2008) e suco de uva (CAVEN-QUANTRILL & BUGLASS, 2006).

Como são compostos comuns na uva e em seus derivados, a presença deles no extrato glicólico e na essência de uva, indica que esses produtos possuem voláteis similares aos do aroma natural do fruto. A similaridade entre o fruto e o extrato glicólico foi de 13 compostos, o hexanoato de etila, isomentol, isoneomentol, 1-nonanol, ácido caprílico, octanoato de etila, decanal, β -ciclocitral, salicilato de etila, β -damascenona, β -ionona, octissalato e homosalato. A comparação entre fruto e essência de uva, revelou a semelhança de apenas 5 compostos, pentanoato de etila, hexanoato de etila, octanoato de etila, β -ciclocitral e antranilato de metila. Essa avaliação indica que o extrato glicólico de uva está muito mais próximo do perfil de voláteis naturais do fruto, do que a essência, o que pode ser resultado da natureza desses produtos, pois o extrato usa partes da planta na sua produção (HANDA, 2008; SOARES *et al.*, 2016), enquanto a essência é totalmente artificial (SCHULTZ *et al.*, 1967). Dos compostos compartilhados pelo extrato glicólico e fruto da uva, o β -damascenona e β -ionona são relatados como os mais potentes na contribuição do aroma do suco de diversas variedades de uva, e o nonanal é associado a aromas frutado (WU *et al.*, 2016). O salicilato de etila e antranilato de metila tem sua taxa de concentração influenciada pela exposição a luz na variedade de uva ‘Pinot Noir’ (MA *et al.*, 2021). O isomentol também aparece em trabalhos com uva (LUO *et al.*, 2019; MIAO *et al.*, 2020).

5. Captura de *A. fraterculus* no bioensaio de arena com uso de extrato glicólico e essência de uva como atrativos.

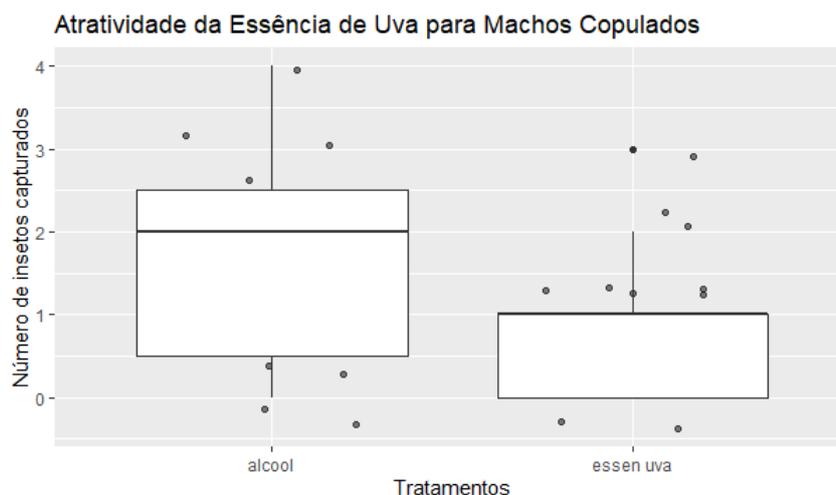


Figura 32- Atratividade da essência de uva e do controle para machos copulado de *Anastrepha fraterculus* em bioensaio de arena, valores relativos ao número de indivíduos capturados nas armadilhas adaptadas. Valor de $p > 0,05$.

O monitoramento de moscas-das-frutas pode ser realizado com o uso de atrativos comerciais como proteína hidrolisada (Bioanastrepha® 5%, Aumax® 5%, Nolure® 5%, *Anastrepha* Lure®) (RAGA *et al.*, 2006; SCOZ *et al.*, 2006), extrato de levedura (Bionis® YE MF 5%) (MESQUITA *et al.*, 2018), levedura (Torula® 2.5%), como também com o uso de suco de frutas (manga, abacaxi, pêsego, café, goiaba, mamão) (VELOSO *et al.*, 1994; VARGAS *et al.*, 1998; SALLES, 1999; CORNELIUS *et al.*, 2000; LEMOS *et al.*, 2002; CASTREJON-GÓMEZ *et al.*, 2004). Entretanto, apesar da grande diversidade de substâncias atrativas disponíveis no mercado, elas apresentam alto custo, sendo esse um fator limitante para o uso por pequenos produtores (MONTES & RAGA, 2006). Estudos recentes têm demonstrado que os voláteis liberados pelos frutos hospedeiros possuem potencial de atuar como atrativo para machos e fêmeas (HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ *et al.* 2001; MALO *et al.*, 2005; JAYANTHI *et al.*, 2012; DIAZ-SANTIZ *et al.*, 2015). Desse modo, extratos e essências comerciais de frutas podem se destacar como alternativa de atrativos eficientes. A uva está entre as principais frutas produzidas no Brasil, em 2019 atingimos o valor de produção de 1.485.292 toneladas. Essa produção é utilizada pelo mercado interno e também para exportação, em 2020 a exportação de uva obteve um crescimento de 9%. O estado do Rio Grande do Sul é o maior produtor de uva, sendo responsável por metade da produção nacional, seguido pelo polo do Vale do São Francisco situado na divisa entre a Bahia e Pernambuco. Também estão entre os principais produtores nacionais de uva os estados de São Paulo, Santa Catarina e

Paraná. Foram exportadas 49,3 mil toneladas de uva em 2020, o que gerou uma renda de aproximadamente US\$ 109,1 milhões de dólares (KIST *et al.*, 2021).

Assim como em outras culturas, a produção de uva sofre ataque de moscas-das-frutas. Na região sul do país, ela é relatada como a principal praga associada ao cultivo de uvas finas de mesa (FORMOLO *et al.*, 2011). Esses ataques são caracterizados pela presença de galerias, deformações e queda prematura desses frutos (ZART *et al.*, 2011). Além do estabelecimento de microrganismos patogênicos associados aos locais de punctura (MACHOTA *et al.*, 2013). Dentre a variedade de genótipos existentes no Brasil, o trabalho de Correa e colaboradores (2018) indicou o Niagara Rosada, BRS Linda, BRS Cora e Cabernet Sauvignon como os preferidos para *A. fraterculus*. Também foram relatadas nos genótipos Moscato Embrapa e Itália (ZART *et al.*, 2010 e 2011). A resposta sensorial de insetos aos compostos químicos varia entre os organismos de uma mesma espécie a depender de fatores como idade, sexo, composição da sua dieta, status sexual, população, habitats e fatores genéticos (SOLLAI *et al.*, 2020). Em *C. capitata* foi observada uma mudança comportamental nas escolhas olfativas entre fêmeas virgens e acasaladas, sendo que as virgens foram mais atraídas por feromônio sexual masculino, enquanto as acasaladas preferiram os odores que indicavam locais para oviposição (JANG, 1995 e 2002). Em outro trabalho desenvolvido com essa mesma espécie, os autores obtiveram resposta de machos e fêmeas para os estímulos testados, demonstrando que os voláteis de folhas e frutos da planta hospedeira são importantes para ambos os sexos (SOLLAI *et al.*, 2020). Para os machos esses odores indicam locais para realização do comportamento de “lek” e atração de fêmeas para o acasalamento, enquanto para as fêmeas representam possibilidade de cópula e local adequado para oviposição (LIGTH *et al.*, 1988; JANG *et al.*, 1989; DEMIREL *et al.*, 2007). Essa similaridade de respostas entre machos e fêmeas quando expostos a voláteis da planta hospedeira também foi observada em bioensaio de EAG realizados com *R. pomonella* e *D. dorsalis* (FEIN *et al.*, 1982; LIGHT & JANG, 1987).

Diante da observação do uso de uvas de diversos genótipos como sítio de oviposição para *A. fraterculus*, assim como pela importância que essa cultura tem no país e principalmente nos estados da região sul, onde a *A. fraterculus* é dominante, o uso de produtos comerciais baseados nesse fruto surgem como uma alternativa para o controle e monitoramento dessas moscas no campo. O extrato glicólico de uva apresentou um alto valor de captura sob todas as condições avaliadas, indicando seu

potencial como atrativo para machos e fêmeas, virgens e copulados de *A. fraterculus*. Esse resultado pode estar diretamente associado ao perfil de voláteis que é liberado pelo produto, pois a avaliação por SPME/CG - EM indicou a similaridades de compostos entre ele e voláteis liberados pela uva, tanto da variedade testada a ‘Thompson’, quanto com outras variedades (WU *et al.*, 2016; MA *et al.*, 2021). Esses resultados ainda corroboram o fato de que os voláteis da planta hospedeira são importantes para ambos os sexos, como foi visto anteriormente em trabalhos com *C. capitata* (SOLLAI *et al.*, 2020). Essa mesma vertente se aplica a essência de uva, porém, no sentido contrário. Nesse caso, o composto não obteve sucesso de atração para os insetos testados, que pode estar relacionado à sua falta de similaridade química com o fruto natural, pois a semelhança entre estes foi de apenas cinco compostos. A avaliação do efeito de fatores biológicos como sexo e status sexual são importantes na compreensão da dinâmica de resposta desses insetos aos atrativos, servindo de base para escolha de atrativos a serem empregados nos programas de monitoramento e controle no campo. Futuros bioensaios de EAG poderão indicar se existe compostos voláteis nesses dois produtos que possam gerar resposta ativa para fêmeas e machos de *A. fraterculus*, e assim elucidar se a resposta observada aqui está ligada aos voláteis de atração ou a outros fatores que não foram avaliados aqui, como o potencial nutricional desses produtos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos anos muitos estudos vêm sendo desenvolvidos na área de ecologia química com intuito de descobrir quais compostos químicos e em quais composições eles são capazes de mediar a comunicação de insetos, assim como, quais fatores fisiológicos desses são capazes de atuar na recepção e interpretação desses estímulos, porém, apesar do incontável progresso obtido por esses estudos, ainda existem muitas lacunas a serem preenchidas. Diante da importância econômica que as moscas-das-frutas apresentam para o Brasil e para mundo, esse trabalho visou contribuir na compreensão da relação de três espécies com um hospedeiro exótico, que possui ampla distribuição pelo país e que pode atuar como hospedeiro intermediário na ausência dos preferenciais. Também se investigou o uso de produtos comerciais que possam apresentar bons resultados de captura no campo. Os resultados obtidos aqui indicaram a presença de compostos ativos no extrato da amendoieira-da-praia para *A. obliqua* e *C. capitata*, como também uma ausência de respostas por fêmeas de *A. fraterculus*, o que levanta a necessidade de mais estudos com essa espécie. Também encontramos ótimas respostas de captura ao utilizar o extrato glicólico de uva como atrativo para machos e fêmeas de *A. fraterculus* no bioensaio de arena. Diante desses dados, foi possível inferir que esses insetos possuem a capacidade de perceber os voláteis no ambiente através de suas antenas, entretanto, é necessário a realização de mais testes que corroborem os resultados aqui obtidos tanto no laboratório quanto em bioensaios de campo, de forma que formulações baseadas nesses compostos ativos possam ser aplicadas de forma efetiva no controle e monitoramento dessas moscas no campo. O uso do extrato glicólico de uva como atrativo comercial também merece maior investigação sobre seu comportamento sob condições adversas no campo, sua capacidade de atração e captura em áreas abertas, assim como sua durabilidade.

REFERÊNCIAS

- Al-Khshemawee, H., Agarwal, M., Du, X., & Ren, Y. (2017). Detection of mediterranean fruit fly larvae *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephidae) in different types of fruit by hs-SPME GC-MS method. *Journal of Biosciences and Medicines*, 5(3), 154-169.
- Aluja, M., & Díaz-Fleischer, F. (2006). Foraging behavior of *Anastrepha ludens*, *A. obliqua*, and *A. serpentina* in response to feces extracts containing host marking pheromone. *Journal of chemical ecology*, 32(2), 367-389.
- Aluja, M., Arredondo, J., Díaz-Fleischer, F., Birke, A., Rull, J., Niogret, J., & Epsky, N. (2014). Susceptibility of 15 mango (Sapindales: Anacardiaceae) cultivars to the attack by *Anastrepha ludens* and *Anastrepha obliqua* (Diptera: Tephritidae) and the role of underdeveloped fruit as pest reservoirs: Management implications. *Journal of Economic Entomology*, 107(1), 375-388.
- Aluja, M., & Mangan, R. L. (2008). Fruit fly (Diptera: Tephritidae) host status determination: critical conceptual, methodological, and regulatory considerations. *Annu. Rev. Entomol.*, 53, 473-502.
- Aluja, M., & Prokopy, R. J. (1992). Host Search behaviour by *Rhagoletis pomonella* files: inter- tree movement patterns in response to wind- borne fruit volatiles under filed conditions. *Physiological Entomology*, 17(1), 1-8.
- Alvarenga, C. D., Matrangolo, C. A. R., Lopes, G. N., Silva, M. A., Lopes, E. N., Alves, D. A., ... & Zucchi, R. A. (2021). Moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) e seus parasitóides em plantas hospedeiras de três municípios do norte do estado de Minas Gerais. *Arquivos do Instituto Biológico*, 76, 195-204.
- Antonatos, S., Papadopoulos, N. T., Anastasaki, E., Kimbaris, A., & Papachristos, D. P. (2021). Oviposition Responses of Female Mediterranean Fruit Flies (Diptera: Tephritidae) to Fruit Volatile Compounds. *Journal of Economic Entomology*.
- Araujo, E. L., Cunha, A. A., Silva, R. K. B., Nunes, A. M. M., & Guimarães, J. A. (2009). Espécies de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) na região do baixo Jaguaribe, Estado do Ceará. *Arquivos do Instituto Biológico*, 76, 577-581.
- Arioli, C. J., Botton, M., Machota Junio, R., Nunes, M. Z., & da Rosa, J. M. (2018). Novas ferramentas para monitoramento e controle massal de mosca-das-frutas. In *Embrapa Uva e Vinho-Resumo em anais de congresso (ALICE)*. Synergismus scyentifica UTFPR, v. 13, n. 1, p. 15-20, 2018.
- Baker, R., Herbert, R. H., & Grant, G. G. (1985). Isolation and identification of the sex pheromone of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Wied). *Journal of the Chemical Society, Chemical Communications*, (12), 824-825.

- Baker, P. S., Howse, P. E., Ondarza, R. N., & Reyes, J. (1990). Field trials of synthetic sex pheromone components of the male Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) in southern Mexico. *Journal of Economic Entomology*, 83(6), 2235-2245.
- Bakri, A., Dueben, B. D., Proveaux, A. T., & Heath, R. R. (2006). Isolation, Identification and determination of the Biological Activity of candidate Fruit Volatile components from *Argania spinosa* L.(Sapotacea).
- Baldin, E. L. L., Souza, D. R., Souza, E. S., & Beneduzzi, R. A. (2007). Controle de mosca-branca com extratos vegetais, em tomateiro cultivado em casa-de-vegetação. *Horticultura Brasileira*, 602-606.
- Balogh, T. S. (2011). Uso cosmético de extratos glicólicos: avaliação da atividade antioxidante, estudo da estabilidade e potencial fotoprotetor (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., Walker, S., Christensen, R. H. B., Singmann, H., ... & Bolker, M. B. (2015). Package 'lme4'. *Convergence*, 12(1), 2.
- Blassioli, M. C., Marinho, L., Laumann, R., & Borges, M. (2003). Metodologia para estudos de semioquímicos e a sua aplicação no manejo de pragas.
- Benelli G, Daane KM, Canale A, Niu CY, Messing RH, Vargas RI. (2014). Sexual communication and related behaviours in Tephritidae: current knowledge and potential applications for Integrated Pest Management. *J Pest Sci*.
- Biasazin, T. D., Chernet, H. T., Herrera, S. L., Bengtsson, M., Karlsson, M. F., Lemmen-Lechelt, J. K., & Dekker, T. (2018). Detection of volatile constituents from food lures by tephritid fruit flies. *Insects*, 9(3), 119.
- Biasazin, T. D., Larsson Herrera, S., Kimbokota, F., & Dekker, T. (2019). Translating olfactomes into attractants: shared volatiles provide attractive bridges for polyphagy in fruit flies. *Ecology letters*, 22(1), 108-118.
- Binyameen, M., Hamid, A., Afzal, I., Sajjad, M., Azeem, M., Zaka, S. M., ... & Schlyter, F. (2021). Role of fruit volatiles of different guava varieties in attraction and oviposition behaviors of peach fruit fly, *Bactrocera zonata* Saunders. *Arthropod-Plant Interactions*, 15(1), 95-106.
- Birke, A. and Aluja, M. (2018) Do mothers really know best? Complexities in testing the preference-performance hypothesis in polyphagous frugivorous fruit flies. *Bulletin of Entomological Research*, 108: 674-684.
- Birke, A., Guillén, L., Midgarden, D., & Aluja, M. (2013). Fruit flies, *Anastrepha ludens* (Loew), *A. obliqua* (Macquart) and *A. grandis* (Macquart)(Diptera: Tephritidae): three pestiferous tropical fruit flies that could potentially expand their range to temperate areas. *JE Peña [éd.], Potential Invasive Pests. CAB International, Wall ingford, UK*, 192-213.

Bisognin, M., Nava, D. E., Diez-Rodríguez, G. I., Valgas, R. A., Garcia, M. S., Krolow, A. C. R., & Antunes, L. E. C. (2015). Development of *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae) related to the phenology of blueberry, blackberry, strawberry guava, and surinam cherry fruits. *Journal of Economic Entomology*, 108(1), 192-200.

Borden, J. H., Pureswaran, D. S., & Pierre Lafontaine, J. (2008). Synergistic blends of monoterpenes for aggregation pheromones of the mountain pine beetle (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of economic entomology*, 101(4), 1266-1275.

Botton, M., Junior, M., Nava, D. E., & Arioli, J. (2012). Novas alternativas para o monitoramento e controle de *Anastrepha fraterculus* (wied., 1830)(diptera: tephritidae) na fruticultura de clima temperado. In *Embrapa Clima Temperado-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: OLIVEIRA, AF de Oliveira no Brasil: tecnologias de produção. Belo Horizonte: EPAMIG, 2012. 772 p.

Braga Sobrinho, R., Malavasi, A., & Ometo, A. C. F. (2001). Manual operacional para levantamento, detecção, monitoramento e controle de moscas-das-frutas. *Embrapa Agroindústria Tropical-Circular Técnica (INFOTECA-E)*.

Bravo, I. S. J., & Zucoloto, F. S. (1998). Performance and feeding behavior of *Ceratitis capitata*: comparison of a wild population and a laboratory population. *Entomologia experimentalis et applicata*, 87(1), 67-72.

Břízová, R., Vaníčková, L., Fařarová, M., Ekesi, S., Hoskovec, M., & Kalinová, B. (2015). Analyses of volatiles produced by the African fruit fly species complex (Diptera, Tephritidae). *ZooKeys*, (540), 385.

Bruce, T. J., & Pickett, J. A. (2011). Perception of plant volatile blends by herbivorous insects—finding the right mix. *Phytochemistry*, 72(13), 1605-1611.

Canale, A., Geri, S., & Benelli, G. (2014). Associative learning for host-induced fruit volatiles in *Psytalia concolor* (Hymenoptera: Braconidae), a koinobiont parasitoid of tephritid flies. *Bulletin of Entomological Research*, 104(6), 774-780.

Cardoso-Gustavson, P., Bolsoni, V. P., Oliveira, D. P. D., Guaratini, M. T. G., Aidar, M. P. M., Marabesi, M. A., ... & de Souza, S. R. (2014). Ozone-induced responses in *Croton floribundus* Spreng.(Euphorbiaceae): metabolic cross-talk between volatile organic compounds and calcium oxalate crystal formation. *Plos One*, 9(8), e105072.

Carvalho, C., et al. Anuário Brasileiro de Horti&Fruti (2020). Santa Cruz do Sul : Editora Gazeta Santa Cruz, 2019. 96 p. : il.

Carvalho, R. D. S. (2005). Avaliação das liberações inoculativas do parasitóide exótico *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead)(Hymenoptera: Braconidae) em pomar diversificado em Conceição do Almeida, BA. *Neotropical Entomology*, 34, 799-805.

Carvalho, R. D. S. (2005). Metodologia para monitoramento populacional de moscas-das-frutas em pomares comerciais. *Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical*.

Carvalho, R. D. S., Nascimento, A. D., & Matrangolo, W. J. R. (1998). Metodologia de criação do parasitoide exótico *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae). *EMBRAPA-CNPMPF*.

Carvalho, R. S., Nascimento, A. S., Matrangolo, W. J. R. (2000). Controle biológico. In: Malavasi, A.; Zucchi, R. A. (Ed.). Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil: conhecimento básico e aplicado. Ribeirão Preto: 113.

Castrejón-Gómez, V. R., Aluja, M., Arzuffi, R., & Villa, P. (2004). Two low-cost food attractants for capturing *Toxotrypana curvicauda* (Diptera: Tephritidae) in the field. *Journal of economic entomology*, 97(2), 310-315.

Cha, D. H., Olsson, S. B., Yee, W. L., Goughnour, R. B., Hood, G. R., Mattsson, M., ... & Linn, C. E. (2017). Identification of host fruit volatiles from snowberry (*Symphoricarpos albus*), attractive to *Rhagoletis zephyria* flies from the western United States. *Journal of chemical ecology*, 43(2), 188-197.

Chaim, A., Botton, M., Scramin, S., Pessoa, M. C. P. Y., Sanhueza, R. M. V., Kovaleski, A. (2003). Deposição de agrotóxicos pulverizados na cultura da maçã. Pesquisa agropecuária brasileira. Brasília, v.38, n.7, 889-892.

Chiaradia, M. C., Collins, C. H., & Jardim, I. C. (2008). O estado da arte da cromatografia associada à espectrometria de massas acoplada à espectrometria de massas na análise de compostos tóxicos em alimentos. *Química nova*, 31, 623-636

Clarke, A. R. (2017). Why so many polyphagous fruit flies (Diptera:Tephritidae)? A further contribution to the 'generalism' debate. *Biol J Linn Soc* 120: 245–257

Casaña-Giner, V., Gandía-Balaguer, A., Hernández-Alamós, M. M., Mengod-Puerta, C., Garrido-Vivas, A., Primo-Millo, J., & Primo-Yúfera, E. (2001). Attractiveness of 79 compounds and mixtures to wild *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) in field trials. *Journal of economic entomology*, 94(4), 898-904.

Caven-Quantrill, D. J., & Buglass, A. J. (2006). Comparison of micro-scale simultaneous distillation–extraction and stir bar sorptive extraction for the determination of volatile organic constituents of grape juice. *Journal of Chromatography A*, 1117(2), 121-131.

Cornelius, M. L., Duan, J. J., & Messing, R. H. (2000). Volatile host fruit odors as attractants for the oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae). *Journal of economic entomology*, 93(1), 93-100.

Cornelius, M. L., Nergel, L., Duan, J. J., & Messing, R. H. (2000). Responses of female oriental fruit flies (Diptera: Tephritidae) to protein and host fruit odors in field cage and open field tests. *Environmental Entomology*, 29(1), 14-19.

Correa, S. C., Wille, C. L., Hoffer, H., Boff, M. I. C., & Franco, C. R. (2018). OVIPOSITION PREFERENCE AND BIOLOGY OF FRUIT FLIES (DIPTERA: TEPHRITIDAE) ON GRAPE VINE GENOTYPES1. *Revista Caatinga*, 31, 850-859.

Corrêa, A. G., & Sant'Ana, J. (2001). Fundamentos da comunicação química de insetos. *Produtos naturais no controle de insetos. São Carlos, EdUFSCar, 176p*, 9-22.

Cortés-Martínez, F., Cruz-López, L., Liedo, P., & Rojas, J. C. (2021). The ripeness stage but not the cultivar influences the attraction of *Anastrepha obliqua* to guava. *Chemoecology*, *31*(2), 115-123.

Cruz-López, L., Malo, E. A., Toledo, J., Virgen, A., Del Mazo, A., & Rojas, J. C. (2006). A new potential attractant for *Anastrepha obliqua* from *Spondias mombin* fruits. *Journal of Chemical Ecology*, *32*(2), 351-365.

Damos, P. (2015). Modular structure of web-based decision support systems for integrated pest management. A review. *Agronomy for sustainable development*, *35*(4), 1347-1372.

Dias, N. P., Ongaratto, S., Garcia, M. S., & Nava, D. E. (2017). Oviposition of *Anastrepha fraterculus* and *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) in citrus fruits, and development in relation to maturity of orange fruits. *Florida Entomologist*, *100*(2), 468-473.

Díaz-Fleischer, F., Papaj, D. R., Prokopy, R. J.; Norrbom, A. L. & Aluja, M. (2000). Evolution of fruit fly oviposition behavior. In: Aluja, M. & Norrbom, A. L. (Ed.). *Fruit Flies (Tephritidae): Phylogeny and Evolution of Behavior*. NY: CRC Press,. cap. 30, p. 811-841.

Díaz- Santiz, E., Rojas, J. C., Cruz- López, L., Hernández, E., & Malo, E. A. (2015). Olfactory response of *Anastrepha striata* (Diptera: Tephritidae) to guava and sweet orange volatiles. *Insect science*, *23*(5), 720-727.

Dicke, M., & Sabelis, M. W. (1988). Infochemical terminology: based on cost-benefit analysis rather than origin of compounds?. *Functional ecology*, 131-139.

De Almeida Cartaxo, P. H., Lopes, G. N., Gonzaga, K. S., de Oliveira Santos, J. P., Cartaxo, A. D. S. B., Magalhães, J. V. A., ... & Araújo, D. B. (2020). *Bactrocera carambolae* Drew & Hancock (Diptera: Tephritidae): Riscos para a Fruticultura Brasileira. *Research, Society and Development*, *9*(8), e780986608-e780986608.

De Aquino, N. C., Ferreira, L. L., Tavares, R., Silva, C. S., Mendonça, A., Joachim-Bravo, I. S., ... & Do Nascimento, R. R. (2021). Bioactive male-produced volatiles from *Anastrepha obliqua* and their role in attraction of conspecific females. *Journal of Chemical Ecology*, *47*(2), 167-174.

De Bruyne, M., & Baker, T. C. (2008). Odor detection in insects: volatile codes. *Journal of chemical ecology*, *34*(7), 882-897.

De Lima, C. P., Bolino, D. S., Dionísio, K. C., de Miranda, G. S., Maia, G. K. F., de Paula, A. G., & de Campos, G. K. A. (2020). AVALIAÇÃO DA QUALIDADE E ATIVIDADE ANTIBACTERIANA DE EXTRATO DE PRÓPOLIS. *Cadernos da Escola de Saúde*, *20*(1), 29-48.

Demirel, N. (2007). Behavior paradigms in the Mediterranean fruit fly, *Ceratitidis capitata* (Weidemann). *Journal of Entomology*, 4(2), 129-135.

De Oliveira, F. Q., Júnior, A. L. B., Costa, M. D. L. Z., Batista, J. D. L., Costa, K. Z., & Walder, J. M. M. (2015). Infestation of guava by *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae): preferred ripening stages and influence of fruit peel coloration. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39(1), 1-9.

De Sousa, E. M., Louzeiro, L. R. F., de Souza-Filho, M. F., & Raga, A. (2020). Ovipositional Behaviour of Two Fruit Flies, *Ceratitidis capitata* and *Anastrepha fraterculus*, in Seven Fruit Hosts in the Laboratory. *Annual Research & Review in Biology*, 93-102.

De Souza, A. L. G., Ferreira, M. C. R., de Miranda, L. R., Silvino, R. C. D. A. S., Lorenzo, N. D., Correa, N. C. F., & dos Santos, O. V. (2016). Aproveitamento nutricional e tecnológico dos frutos da castanhola (*Terminalia catappa* Linn.). *Revista Pan-Amazônica de Saúde*, 7(3), 7-7.

Drew, R. A., & Hancock, D. L. (1994). The *Bactrocera dorsalis* complex of fruit flies (Diptera: Tephritidae: Dacinae) in Asia. *Bulletin of Entomological Research Supplement Series*, 2, 1-68.

Dolores, O. S., Layme, J. M., & Huaynate, C. C. (2020). Nonhost status of commercial sweet granadilla (*Passiflora ligularis*) in Peru to *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae) and *Anastrepha fraterculus*. *Journal of economic entomology*, 113(3), 1158-1175.

Dougherty, M. J., Guerin, P. M., Ward, R. D., & Hamilton, J. G. C. (1999). Behavioural and electrophysiological responses of the phlebotomine sandfly *Lutzomyia longipalpis* (Diptera: Psychodidae) when exposed to canid host odour kairomones. *Physiological entomology*, 24(3), 251-262.

Dudareva, N., Negre, F., Nagegowda, D. A., & Orlova, I. (2006). Plant volatiles: recent advances and future perspectives. *Critical reviews in plant sciences*, 25(5), 417-440.

Edwards, P. J., & Wratten, S. D. (1981). *Ecologia das interações entre insetos e plantas* (Vol. 27). São Paulo: EPU/Editora da Universidade de Sao Paulo.

Edmunds, A. J., Aluja, M., Diaz-Fleischer, F., Patrian, B., & Haggmann, L. (2010). Host marking pheromone (HMP) in the Mexican fruit fly *Anastrepha ludens*. *CHIMIA International Journal for Chemistry*, 64(1), 37-42.

EPPO (2021) *Anastrepha obliqua*. EPPO datasheets on pests recommended for regulation. Available online. <https://gd.eppo.int>

EPPO (2021) *Ceratitidis capitata*. EPPO datasheets on pests recommended for regulation. Available online. <https://gd.eppo.int>

EPPO (2021) *Anastrepha fraterculus*. EPPO datasheets on pests recommended for regulation. Available online. <https://gd.eppo.int>

Fachinello, J. C., Pasa, M. D. S., Schmitz, J. D., & Betemps, D. L. (2011). Situação e perspectivas da fruticultura de clima temperado no Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33, 109-120.

Fein, B. L., Reissig, W. H., & Roelofs, W. L. (1982). Identification of apple volatiles attractive to the apple maggot, *Rhagoletis pomonella*. *Journal of Chemical Ecology*, 8(12), 1473-1487.

Ferreira, A. C. S., Monteiro, J., Oliveira, C., & de Pinho, P. G. (2008). Study of major aromatic compounds in port wines from carotenoid degradation. *Food chemistry*, 110(1), 83-87.

Filho, H. P. S., Azevedo, C. L. L., Nascimento, A. S., Carvalho, J. E. B. (2009). Manual prático para o monitoramento e controle das pragas da lima ácida tahiti. Cruz das Almas.

Finney, G. L. (1956). A fortified carrot medium for mass-culture of the oriental fruit fly and certain other tephritids. *Journal of Economic Entomology*, 49(1), 134-134.

Francke, W., & Schulz, S. (1999). Pheromones. *Comprehensive Natural Products Chemistry*, Vol 8: Miscellaneous Natural Products Including Marine Natural Products, Pheromones, Plant Hormones, and Aspects of Ecology.

Franzoni, M. Aegro, 2018. Tudo o que você precisa saber sobre o manejo integrado de pragas. Disponível em: <<https://blog.aegro.com.br/manejo-integrado-de-pragas/>>. Acesso em: 26 de setembro de 2021.

Fonseca, S., da Silva, F. G. C., Paranhos, B., & Svedes, V. (2015). Ação de *Metarhizium anisopliae* e sua associação com extrato de nim para o controle da mosca-das-frutas (*Ceratitis capitata*). In *Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRONOMIA, 29., 2015, Foz do Iguaçu. Desafios e oportunidades profissionais: anais. Curitiba: CONFEA-PR, 2015.

Formolo, R., Rufato, L., Botton, M., & Machota Junior, R. (2011). Diagnóstico da área cultivada com uva fina de mesa (*Vitis vinifera* L) sob cobertura plástica e do manejo de pragas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33, 103-110.

Fox, J., Weisberg, S., Adler, D., Bates, D., Baud-Bovy, G., Ellison, S., ... & Heiberger, R. (2012). Package 'car'. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.

Galdino, L. T., & Raga, A. (2016). Semioquímicos em Moscas-das-frutas.

Gallo, D., Nakano, O., Neto, S. S., Carvalho, R. P. L., Baptista, G. C., Parra, J. R. P., Zucchi, R. A., Alves, S. B., Vendramin, J. D., Marchini, L. C., Lopes, J. R. S., Omoto, C. (2002). *Entomologia agrícola*. Piracicaba, v.10.

Galindo López, J. C., & Malo, E. A. (2004). *Atracción de Anastrepha obliqua irradiada (Macquart)(Diptera: tephritidae) a volátiles de mango (Mangifera indica L.) CV. ataulfo* (No. TE/632.774 G35).

Gasperi, G., Bonizzoni, M., Gomulski, L. M., Murelli, V., Torti, C., Malacrida, A. R., & Guglielmino, C. R. (2002). Genetic differentiation, gene flow and the origin of infestations of the medfly, *Ceratitis capitata*. *Genetica*, *116*(1), 125-135.

Gerum, A. D. A., Santos, G. S., Santana, M. D. A., Souza, J. D. S., & Cardoso, C. E. L. (2019). Fruticultura tropical: potenciais riscos e seus impactos. *Embrapa Mandioca e Fruticultura-Documentos (INFOTECA-E)*.

Guidobaldi, F., May-Concha, I. J., & Guerenstein, P. G. (2014). Morphology and physiology of the olfactory system of blood-feeding insects. *Journal of Physiology-Paris*, *108*(2-3), 96-111.

Goulart, H. F., Lima, M. R. F., de Moraes, R. K., & Bernardo, V. B. (2015). Feromônios: uma alternativa verde para o manejo integrado de pragas. *Revista Virtual de Química*, *7*(4), 1205-1224.

Gonçalves, G. B., Silva, C. E., Dos Santos, J. C., Dos Santos, E. S., Do Nascimento, R. R., Da Silva, E. L., ... & Sant'Ana, A. E. (2006). Comparison of the volatile components released by calling males of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) with those extractable from the salivary glands. *Florida Entomologist*, 375-379.

Gonçalves, G. B., Silva, C. E., De Lima Mendonça, A., Vaničková, L., Tomčala, A., & Nascimento, R. R. D. (2013). Pheromone communication in *Anastrepha obliqua* (Diptera: Tephritidae): A comparison of the volatiles and salivary gland extracts of two wild populations. *Florida Entomologist*, 1365-1374.

González, R., Toledo, J., Cruz-Lopez, L., Virgen, A., Santiesteban, A., & Malo, E. A. (2006). A new blend of white sapote fruit volatiles as potential attractant to *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae). *Journal of economic entomology*, *99*(6), 1994-2001.

Greenfield, M. D. (2002). *Signalers and receivers: mechanisms and evolution of arthropod communication*. Oxford University Press.

Gregorio, P. L., Sant'Ana, J., & Redaelli, L. R. (2010). Percepção química e visual de *Anastrepha fraterculus* (Diptera, Tephritidae) em laboratório. *Iheringia. Série Zoologia*, *100*(2), 128-132.

Handa, S. S. (2008). An overview of extraction techniques for medicinal and aromatic plants. *Extraction technologies for medicinal and aromatic plants*, *1*, 21-40.

Hansson, B. S., & Stensmyr, M. C. (2011). Evolution of insect olfaction. *Neuron*, *72*(5), 698-711.

Hernández-Ortiz, V., Gómez-Anaya, J. A., Sánchez, A., McPheron, B. A., & Aluja, M. (2004). *Morphometric analysis of Mexican and South American populations of the*

Anastrepha fraterculus complex (Diptera: Tephritidae) and recognition of a distinct Mexican morphotype. Bulletin of Entomological Research, 94(06).

Hernández-Ortiz, V., Barradas-Juanz, N., & Díaz-Castelazo, C. (2019). A review of the natural host plants of the *Anastrepha fraterculus* complex in the Americas. *Area-wide management of fruit fly pests*, 89-122.

Ioannou, C. S., Papadopoulos, N. T., Kouloussis, N. A., Tananaki, C. I., & Katsoyannos, B. I. (2012). Essential oils of citrus fruit stimulate oviposition in the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). *Physiological Entomology*, 37(4), 330-339.

Israely, N., Yuval, B., Kitron, U., & Nestel, D. (1997). Population Fluctuations of Adult Mediterranean Fruit Flies (Diptera: Tephritidae) in a Mediterranean Heterogeneous Agricultural Region. *Environmental Entomology*, 26, 1263–1269.

Ivani, S. D. A., Silva, B. M. D. S., Oliveira, C. D., & Môro, F. V. (2008). Morfologia de frutos, sementes e plântulas de castanheira (*Terminalia catappa* L.-combretaceae). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30, 517-522.

Jaenike J. (1990) Host specialization in phytophagous insects. *Annu Rev Ecol Syst* 21: 243–273

Jang, E. B. (1995). Effects of mating and accessory gland injections on olfactory-mediated behavior in the female Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*. *Journal of Insect Physiology*, 41(8), 705-710.

Jang, E. B. (2002). Physiology of mating behavior in Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae): chemoreception and male accessory gland fluids in female post-mating behavior. *Florida Entomologist*, 85(1), 89-93.

Jang, E. B., Light, D. M., Flath, R. A., Nagata, J. T., & Mon, T. R. (1989). Electroantennogram responses of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* to identified volatile constituents from calling males. *Entomologia experimentalis et Applicata*, 50(1), 7-19.

Jayanthi, P. D. K., Woodcock, C. M., Caulfield, J., Birkett, M. A., & Bruce, T. J. (2012). Isolation and identification of host cues from mango, *Mangifera indica*, that attract gravid female oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis*. *Journal of chemical ecology*, 38(4), 361-369.

Jayanthi, P. D. K., Kempraj, V., Aurade, R. M., Venkataramanappa, R. K., Nandagopal, B., Verghese, A., & Bruce, T. J. (2014). Specific volatile compounds from mango elicit oviposition in gravid *Bactrocera dorsalis* females. *Journal of chemical ecology*, 40(3), 259-266.

Jayanthi, P. K., Kumar, P. S., & Vyas, M. (2021). Odour Cues from Fruit Arils of *Artocarpus heterophyllus* Attract both Sexes of Oriental Fruit Flies. *Journal of Chemical Ecology*, 1-12.

Joachim-Bravo, I. S., Guimarães, A. N., & Magalhães, T. C. (2001). Influência de substâncias atrativas no comportamento alimentar e na preferência de oviposição de *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). *Sitientibus, Série Ciências Biológicas*, 1(1), 60-65.

Kist, B. B., et al. Anuário Brasileiro de Horti&Fruti (2021). Santa Cruz do Sul : Editora Gazeta Santa Cruz, 2021. 104 p. : il.

Khan, M. S., Ullah, F., Badshah, H., Ahmad, B., Shahjehan, I. A., & Calatayud, P. A. (2019). Bait attractants based on artificial fruit-essence for trapping and monitoring *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) females in Peshawar-Pakistan. *Phytoparasitica*, 47(2), 179-184.

Kogan, M. (1988). Integrated pest management theory and practice. *Entomologia experimentalis et applicata*, 49(1- 2), 59-70.

Kovaleski, A., Sugayama, R. L., Uramoto, K., Malavasi, A. (2000). In: Malavasi, A.; Zucchi, R. A. (Ed.). Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil: conhecimento básico e aplicado. Ribeirão Preto: 285-290.

Lasa, R., Velázquez, O. E., Ortega, R., & Acosta, E. (2014). Efficacy of commercial traps and food odor attractants for mass trapping of *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae). *Journal of economic entomology*, 107(1), 198-205.

Landolt, P. J. (1997). Sex attractant and aggregation pheromones of male phytophagous insects. *American Entomologist*, 43(1), 12-22.

Lemos, R. N. S., Silva, C. M. C., Araújo, J. R. G., Costa, L. J. M. P., & Salles, J. R. J. (2002). Eficiência de substâncias atrativas na captura de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) em goiabeiras no município de Itapecuru-Mirim (MA). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 24(3), 687-689.

Levi-Zada, A., Sadowsky, A., Dobrinin, S., Ticuchinski, T., David, M., Fefer, D., ... & Byers, J. A. (2018). Monitoring and mass-trapping methodologies using pheromones: the lesser date moth *Batrachedra amydraula*. *Bulletin of entomological research*, 108(1), 58-68.

Lewis, T. (1984). The elements and frontiers do insect communication. In: Lewis, T. ed. *Insect Communications*. London: Academic Press. P. 1 -27.

Light, D. M., & Jang, E. B. (1987). Electroantennogram responses of the oriental fruit fly, *Dacus dorsalis*, to a spectrum of alcohol and aldehyde plant volatiles. *Entomologia experimentalis et Applicata*, 45(1), 55-64.

Light, D. M., Jang, E. B., & Dickens, J. C. (1988). Electroantennogram responses of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*, to a spectrum of plant volatiles. *Journal of Chemical Ecology*, 14(1), 159-180.

Light, D. M., Jang, E. B., & Flath, R. A. (1992). Electroantennogram responses of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*, to the volatile constituents of nectarines. *Entomologia Experimentalis et applicata*, 63(1), 13-26.

Lima-Mendonça, A., Mendonca, A. D. L., Sant'Ana, A. E. G., & Do Nascimento, R. R. (2014). Semiochemicals of fruit flies of the genus *Anastrepha*. *Química Nova*, 37(2), 293-301.

Lima, I. S., House, P. E., & Nascimento, R. R. D. (2001). Volatile substances from male *Anastrepha fraterculus* Wied.(Diptera: Tephritidae): identification and behavioural activity. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 12(2), 196-201.

Lorenzi, H. (2003). *Árvores exóticas no Brasil: madeiras, ornamentais e aromáticas*. Instituto Plantarum de Estudos da Flora.

Luo, J., Brotchie, J., Pang, M., Marriott, P. J., Howell, K., & Zhang, P. (2019). Dataset of concentrations of free terpenes at different phenological stages in *Vitis vinifera* L. Shiraz, Cabernet Sauvignon, Riesling, Chardonnay and Pinot Gris. *Data in brief*, 27, 104595.

Ma, Z., Yang, S., Mao, J., Li, W., Li, W., Zuo, C., ... & Chen, B. (2021). Effects of shading on the synthesis of volatile organic compounds in 'Marselan' grape berries (*Vitis vinifera* L.). *Journal of Plant Growth Regulation*, 40(2), 679-693.

Macku, C., & Jennings, W. G. (1987). Production of volatiles by ripening bananas. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 35(5), 845-848.

Machota Jr, R., Bortoli, L. C., Botton, M., & Grutzmacher, A. D. (2013). Fungi that cause rot in bunches of grape identified in adult fruit flies (*Anastrepha fraterculus*)(Diptera: Tephritidae). *Chilean journal of agricultural research*, 73(2), 196-201.

Malavasi, A., Morgante, J. S., & Prokopy, R. J. (1983). Distribution and activities of *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae) flies on host and nonhost trees. *Annals of the Entomological Society of America*, 76(2), 286-292.

Malavasi, A. (2009). Biologia, ciclo de vida, relação com o hospedeiro, espécies importantes e biogeografia de tefritídeos. *Biologia, Monitoramento e Controle de Moscas-das-frutas: V Curso Internacional de Capacitação em Moscas-das-frutas*, 21, 1-15.

Malavasi, A.; Zucchi, R.A.; Sugayama, R.L. (2000). Biogeografia, p. 93–98. In: Malavasi A, Zucchi RA (ed.) *Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil (conhecimento básico e aplicado)*. FAPESP-Holos, Ribeirão Preto, 327 p.

Malheiro, R., Casal, S., Rodrigues, N., Renard, C. M., & Pereira, J. A. (2018). Volatile changes in cv. Verdeal Transmontana olive oil: From the drupe to the table, including storage. *Food Research International*, 106, 374-382.

- Malo, E. A., Cruz-López, L., Toledo, J., Del Mazo, A., Virgen, A., Rojas, A. C. (2005). Behavioral and electrophysiological responses of the Mexican fruit fly (Diptera: Tephritidae) to guava volatiles. *Florida Entomologist* 88, 364-371.
- Malo, E. A., Gallegos- Torres, I., Toledo, J., Valle- Mora, J., & Rojas, J. C. (2012). Attraction of the West Indian fruit fly to mango fruit volatiles. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 142(1), 45-52.
- Mansourian, S., & Stensmyr, M. C. (2015). The chemical ecology of the fly. *Current opinion in neurobiology*, 34, 95-102.
- Marques, M. R., Paz, D. D., Batista, L. P. R., Barbosa, C. D. O., Araújo, M. A. M., & Moreira-Araújo, R. S. D. R. (2012). Composição física, físico-química, química, análise do teor de fenólicos totais e poder antioxidante in vitro de frutos de Castanhola (*Terminalia Catappa* Linn). *Food Science and Technology*, 32(1), 209-213.
- Martins, D. S. (2002). Manejo integrado de moscas-das-frutas. In: ZAMBOLIM, L. (Ed). Manejo integrado de fruteiras tropicais: doenças e pragas. Viçosa: UFV, 615-647.
- Mas, F., Manning, L. A., Singlet, M., Butler, R., Mille, C., & Suckling, D. M. (2020). Electrophysiological and behavioral responses of queensland fruit fly females to fruit odors. *Journal of chemical ecology*, 46(2), 176-185.
- Masa, A., & Vilanova, M. (2008). Flavonoid and aromatic characterisation of cv. Albarín blanco (*Vitis vinifera* L.). *Food chemistry*, 107(1), 273-281.
- Mattheis, J. P., Buchanan, D. A., & Fellman, J. K. (1992). Identification of headspace volatile compounds from 'Bing'sweet cherry fruit. *Phytochemistry*, 31(3), 775-777.
- McInnis, D. O. (1989). Artificial oviposition sphere for Mediterranean fruit flies (Diptera: Tephritidae) in field cages. *Journal of Economic Entomology*, 82(5), 1382-1385.
- Medeiros L., Cresoni-Pereira C., Zucoloto F. S. (2008). Insects making choices: physiology related to choices in feeding, mating and oviposition. In: Maes RP (ed) *Insect Physiology: New Research*. Nova Science Publishers, Inc. pp. 143-183.
- Mendonça, M. D. C., Nascimento, A. D., & Melo, A. S. (2003). Eficiência de atratividade da isca fotoativa para moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae). *Revista Ciência Agronômica*, 34(2), 147-152.
- Mesquita, P. R. R., Magalhães-Junior, J. T., Cruz, M. A., Novais, H. O., Santos, J. R. J., Carvalho, S. L., ... & Nascimento, A. S. (2018). Sources of protein as food baits for *Anastrepha obliqua* (Diptera: Tephritidae): tests in a wind tunnel and the field. *Florida Entomologist*, 101, 20-24.

Miao, W., Luo, J., Liu, J., Howell, K., & Zhang, P. (2020). The Influence of UV on the Production of Free Terpenes in *Vitis vinifera* cv. Shiraz. *Agronomy*, *10*(9), 1431.

Miyazaki, H., Otake, J., Mitsuno, H., Ozaki, K., Kanzaki, R., Chieng, A. C. T., ... & Ono, H. (2018). Functional characterization of olfactory receptors in the oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* that respond to plant volatiles. *Insect biochemistry and molecular biology*, *101*, 32-46.

Milet-Pinheiro, P., Navarro, D. M., De Aquino, N. C., Ferreira, L. L., Tavares, R. F., da Silva, R. D. C. C., & Do Nascimento, R. R. (2015). Identification of male-borne attractants in *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae). *Chemoecology*, *25*(3), 115-122.

Moraes, M. C. B., Laumann, R. A., Paula, D. P., Pareja, M., SILVA, C., Vieira, H. G., ... & Borges, M. (2008). Eletroantenografia: a antena do inseto como um biossensor. *Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Documentos*.

Morrison III, W. R., Lee, D. H., Reissig, W. H., Combs, D., Leahy, K., Tuttle, A., ... & Leskey, T. C. (2016). Inclusion of specialist and generalist stimuli in attract-and-kill programs: their relative efficacy in apple maggot fly (Diptera: Tephritidae) pest management. *Environmental entomology*, *45*(4), 974-982.

Nascimento, A. S., Carvalho, R. S. Bahia. In: MALAVASI, A.; ZUCCHI, R.A. (Ed.). Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil: conhecimento básico e aplicado. Ribeirão Preto: Holos, 2000. cap. 34, p.235-239.

Nava, D. E. (2019). Perspectivas do sistema de manejo integrado de mosca das frutas: um caminho para o desenvolvimento sustentável da fruticultura no Brasil. In *Embrapa Clima Temperado-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOSSANIDADE, 5., 2019; Desafios e Avanços da Fitossanidade: Curitiba. Anais... Curitiba: CONBRAAF, 2019.

Nava, D. E., & Botton, M. (2010). Bioecologia e controle de *Anastrepha fraterculus* e *Ceratitis capitata* em pessegueiro. *Embrapa Clima Temperado-Documentos (INFOTECA-E)*.

Narain, N., de Sousa Galvao, M., & Madruga, M. S. (2007). Volatile compounds captured through purge and trap technique in caja-umbu (*Spondias* sp.) fruits during maturation. *Food Chemistry*, *102*(3), 726-731.

Nishida, R., Tan, K. H., Serit, M., Lajis, N. H., Sukari, A. M., Takahashi, S., & Fukami, H. (1988). Accumulation of phenylpropanoids in the rectal glands of males of the Oriental fruit fly, *Dacus dorsalis*. *Experientia*, *44*(6), 534-536.

Nojima, S., Linn, C., & Roelofs, W. (2003). Identification of host fruit volatiles from flowering dogwood (*Cornus florida*) attractive to dogwood-origin *Rhagoletis pomonella* flies. *Journal of chemical ecology*, *29*(10), 2347-2357.

- Nondillo, A., Zanardi, O., Afonso, A. P. S., Benedetti, A. J., & Botton, M. (2007). Efeito de inseticidas neonicotinóides sobre a mosca-das-frutas sul-Americanas *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann)(Diptera: Tephritidae) na cultura da videira. *Embrapa Uva e Vinho-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.
- Nout, M., & Bartelt, R. J. (1998). Attraction of a flying nitidulid (*Carpophilus humeralis*) to volatiles produced by yeasts grown on sweet corn and a corn-based medium. *Journal of Chemical Ecology*, 24(7), 1217-1239.
- Papachristos, D. P., Kimbaris, A. C., Papadopoulos, N. T., & Polissiou, M. G. (2009). Toxicity of citrus essential oils against *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) larvae. *Annals of Applied Biology*, 155(3), 381-389.
- Pavela, R. (2016). History, presence and perspective of using plant extracts as commercial botanical insecticides and farm products for protection against insects—a review. *Plant Protection Science*, 52(4), 229-241.
- Pedrotti, C., Marcon, A. R., Echeverrigaray, L., Ribeiro, R. T. D. S., & Schwambach, J. (2020). Óleo essencial como alternativa sustentável no manejo de doenças da uva na pós-colheita e na vinha e sua influência no vinho. *Journal of Environmental Science and health. Part. B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 1-9.
- Picanço, M. C. (2010). Manejo integrado de pragas. Viçosa.
- Pichersky, E., & Gershenzon, J. (2002). The formation and function of plant volatiles: perfumes for pollinator attraction and defense. *Current opinion in plant biology*, 5(3), 237-243.
- Piñero, J. C., & Dudenhoeffer, A. P. (2018). Mass trapping designs for organic control of the Japanese beetle, *Popillia japonica* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Pest management science*, 74(7), 1687-1693.
- Pinheiro, F., & Pinheiro, A. (2009). BS Processos de Certificação para Exportação de Frutas Frescas Brasileiras. XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. *A Engenharia de Produção e o Desenvolvimento Sustentável: Integrando Tecnologia e Gestão*, 2(19), 1-14.
- Pino, J. A., Marbot, R., & Vázquez, C. (2001). Characterization of volatiles in strawberry guava (*Psidium cattleianum* Sabine) fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(12), 5883-5887.
- Pino, J. A., & Marbot, R. (2001). Volatile flavor constituents of acerola (*Malpighia emarginata* DC.) fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(12), 5880-5882.
- Pino, J., Marbot, R., & Rosado, A. (2002). Volatile constituents of star apple (*Chrysophyllum cainito* L.) from Cuba. *Flavour and fragrance journal*, 17(5), 401-403.

Pino, J. A., Marbot, R., Rosado, A., & Vázquez, C. (2004a). Volatile constituents of Malay rose apple [*Syzygium malaccense* (L.) Merr. & Perry]. *Flavour and fragrance journal*, 19(1), 32-35.

Pino, J. A., Marbot, R., & Vazquez, C. (2004b). Volatile components of tamarind (*Tamarindus indica* L.) grown in Cuba. *Journal of Essential Oil Research*, 16(4), 318-320.

Pino, J. A., Mesa, J., Muñoz, Y., Martí, M. P., & Marbot, R. (2005). Volatile components from mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(6), 2213-2223.

Quilici S., Atiama-Nurbel T., Brévault T. (2014) Plant Odors as Fruit Fly Attractants. In: Shelly T., Epsky N., Jang E., Reyes-Flores J., Vargas R. (eds) *Trapping and the Detection, Control, and Regulation of Tephritid Fruit Flies*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9193-9_4

Raga, A. (2005). Incidência, monitoramento e controle de moscas-das-frutas na citricultura paulista. *Laranja*, 26(2), 307-322.

Raga, A., Machado, R. A., Dinardo, W., Strikis, P. C. (2006). Eficácia de atrativos alimentares na captura de moscas-das-frutas em pomar de citros. *Campinas*, v.65, n.2, 337-345.

Rambla, J. L., Trapero-Mozos, A., Diretto, G., Rubio-Moraga, A., Granell, A., Gómez-Gómez, L., & Ahrazem, O. (2016). Gene-metabolite networks of volatile metabolism in Airen and Tempranillo grape cultivars revealed a distinct mechanism of aroma bouquet production. *Frontiers in plant science*, 7, 1619.

Rasolofoarivao, H., Ravaomanarivo, L. R., & Delatte, H. (2021). Host plant ranges of fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Madagascar. *Bulletin of Entomological Research*, 1-12.

Rattanapun, W., Amornsak, W., & Clarke, A. R. (2009). *Bactrocera dorsalis* preference for and performance on two mango varieties at three stages of ripeness. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 131(3), 243-253.

Raptopoulos, D., Haniotakis, G., Koutsaftikis, A., Kelly, D., & Mavraganis, V. (1995). Biological activity of chemicals identified from extracts and volatiles of male *Rhagoletis cerasi*. *Journal of chemical ecology*, 21(9), 1287-1297.

Raynie, D. E. (2006). Modern extraction techniques. *Analytical chemistry*, 78(12), 3997-4004.

Reinecke, A., & Hilker, M. (2018). Plant semiochemicals—perception and behavioural responses by insects. *Annual Plant Reviews online*, 115-15

- Rhainds, M., Kettela, E. G., & Silk, P. J. (2012). CP Alexander review1: Thirty-five years of pheromone-based mating disruption studies with *Choristoneura fumiferana* (Clemens)(Lepidoptera: Tortricidae). *The Canadian Entomologist*, 144(3), 379-395.
- Riffel, A., & Da Costa, J. G. (2015). Os voláteis de plantas e o seu potencial para a agricultura. *Embrapa Tabuleiros Costeiros-Documentos (INFOTECA-E)*.
- Richardson, D. M., & Rejmánek, M. (2011). Trees and shrubs as invasive alien species—a global review. *Diversity and distributions*, 17(5), 788-809.
- Rodrigues, S. R., Nantes, L. R., Souza, S. R. D., Abot, A. R., & Uchôa-Fernandes, M. A. (2006). Moscas frugívoras (Diptera, Tephritoidea) coletadas em Aquidauana, MS. *Revista Brasileira de Entomologia*, 50, 131-134.
- Roriz, A. K. P., Cruz, M. A., Bravo, I., Selivon, D., & do Nascimento, A. S. (2015). Controle para o estabelecimento de colônias de *Anastrepha Obliqua* e *A. fraterculus* (Diptera: Tephritidae) com base em características morfológicas externas. *Embrapa Mandioca e Fruticultura-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)*.
- Ruther, J. (2000). Retention index database for identification of general green leaf volatiles in plants by coupled capillary gas chromatography– mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 890(2), 313-319.
- Salles, L. A. B. (1995). Bioecologia e controle da mosca-das-frutas sul-americana. Pelotas, 43-53.
- Salles, L. A. (1999). Efeito do envelhecimento e da decomposição do atrativo na captura de adultos de *Anastrepha fraterculus* (Wied.) (Diptera:Tephritidae). *Revista Brasileira de Agrociência*, v.5, n.2, p. 147-148.
- Sampaio, T. S., & Nogueira, P. C. L. (2006). Volatile components of mangaba fruit (*Hancornia speciosa* Gomes) at three stages of maturity. *Food Chemistry*, 95(4), 606-610.
- Santos Filho, H. P., Azevedo, C. L. L., do Nascimento, A. S., & de Carvalho, J. E. B. (2009). Manual prático para o monitoramento e controle das pragas da lima ácida Tahiti. *Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Documentos*.
- Scheirs, J., & De Bruyn, L. (2002). Integrating optimal foraging and optimal oviposition theory in plant–insect research. *Oikos*, 96(1), 187-191.
- Schultz, T. H., Flath, R. A., Black, D. R., Guadagni, D. G., Schultz, W. G., & Teranishi, R. (1967). Volatiles from Delicious apple essence—Extraction methods. *Journal of Food Science*, 32(3), 279-283.
- Schirmer, W. N., & Quadros, M. E. (2010). Compostos orgânicos voláteis biogênicos emitidos a partir de vegetação e seu papel no ozônio troposférico urbano. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 5(1), 25-42.

- Schwab, W., Mahr, C., & Schreier, P. (1989). Studies on the enzymic hydrolysis of bound aroma components from *Carica papaya* fruit. *Journal of agricultural and food chemistry*, 37(4), 1009-1012.
- Scoz, P. L., Botton, M., Garcia, M. S. (2004). Controle químico de *Anastrepha fraterculus* (Wied.) (Diptera: Tephritidae) em laboratório. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.35, n.6, 1689-1694.
- Scoz, P. L., Botton, M., Garcia, M. S., Pastori, P. L. (2006). Avaliação de atrativos alimentares e armadilhas para o monitoramento de *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann, 1830) (Diptera: Tephritidae) na cultura do pessegueiro (*Prunus persica* (L.) Batsh). *IDESIA*. Chile, v.24, n.2, 7-13.
- Segura, D. F., Belliard, S. A., Vera, M. T., Bachmann, G. E., Ruiz, M. J., Jofre-Barud, F., ... & Shelly, T. E. (2018). Plant chemicals and the sexual behavior of male Tephritid fruit flies. *Annals of the Entomological Society of America*, 111(5), 239-264.
- Selivon, D. (2000). Biologia e padrões de especiação. In: Malavasi, A.; Zucchi, R. A. (Ed.). *Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil: conhecimento básico e aplicado*. Ribeirão Preto: 25-28.
- Selivon, D., Vretos, C., Fontes, L., & Perondini, A. L. P. (2004). New variant forms in the *Anastrepha fraterculus* complex (Diptera, Tephritidae). In *Proc. VIth Intern. Symp. Fruit Flies Economic Importance*, edited by BN Barnes, Isteg Scientific Pub, Irene, South Africa (pp. 253-258).
- Shelly, T. E., Edu, J., & Pahio, E. (2007). Condition-dependent mating success in male fruit flies: ingestion of a pheromone precursor compensates for a low-quality diet. *Journal of Insect Behavior*, 20(3), 347-365.
- Siderhurst, M. S., & Jang, E. B. (2006). Female-biased attraction of oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel), to a blend of host fruit volatiles from *Terminalia catappa* L. *Journal of chemical ecology*, 32(11), 2513-2524.
- Siderhurst, M. S., & Jang, E. B. (2006). Attraction of female oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis*, to *Terminalia catappa* fruit extracts in wind tunnel and olfactometer tests. *Formosan Entomologist*, 26(1), 45-55.
- Silva, M. A., Bezerra-Silva, G. C. D., & Mastrangelo, T. (2012). The host marking pheromone application on the management of fruit flies-a review. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 55(6), 835-842.
- Silva, N. M. D. (1993). *Levantamento e análise faunística de moscas-das-frutas (Diptera; Tephritidae) em quatro locais do Estado do Amazonas* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Silva, M. L., Malcata, F. X., & De Revel, G. (1996). Volatile contents of grape marcs in Portugal. *Journal of Food Composition and analysis*, 9(1), 72-80.
- Silva, R. S., Ribeiro, C. M. R., Borges, M. N., & Blois, G. S. (2009). Óleo essencial de limão no ensino da cromatografia em camada delgada. *Química Nova*, 32, 2234-2237.

Silva Neto, A. M., Dias, V. S., & Joachim-Bravo, I. S. (2012). Comportamento reprodutivo de *Ceratitis capitata* Wiedemann (Diptera: Tephritidae): Efeito do tamanho dos machos sobre o seu sucesso de cópula. *EntomoBrasilis*.

Singer M. C. (1986). The definition and measurement of oviposition preference in plant-feeding insects. In: Miller JR, Miller FA (eds) *Insect-plant interactions*. Springer-Verlag, New York, pp. 66-94.

Soares, N., Santos, P., Vieira, V., Pimenta, V., & Araújo, E. (2016). Técnicas de prospecção fitoquímica e sua importância para o estudo de biomoléculas derivadas de plantas. *Enciclopédia Biosfera*, 13(24).

Sollai, G., Solari, P., & Crnjar, R. (2020). Differences in the Olfactory Sensitivity of *Ceratitis capitata* to Headspace of Some Host Plants in Relation to Sex, Mating Condition and Population. *Diversity*, 12(5), 207.

Soria, A. C., García-Sarrió, M. J., & Sanz, M. L. (2015). Volatile sampling by headspace techniques. *TrAC trends in analytical chemistry*, 71, 85-99.

Souza-Filho, M. F. (2002). Moscas das Frutas. In: Anais da 7ª reunião itinerante de fitossanidade do instituto biológico. Indaiatuba - SP, p. 23-26.

Stensmyr, M. C. (2004). *The fly nose* (Vol. 473, No. 473).

Spiegel, C. N., Jeanbourquin, P., Guerin, P. M., Hooper, A. M., Claude, S., Tabacchi, R., ... & Mori, K. (2005). (1S, 3S, 7R)-3-methyl- α -himachalene from the male sandfly *Lutzomyia longipalpis* (Diptera: Psychodidae) induces neurophysiological responses and attracts both males and females. *Journal of insect physiology*, 51(12), 1366-1375.

Subhash, S. (2019). *Investigations on Behaviour and Chemical Ecology of Melon Fly, Zeugodacus Cucurbitae (Coquillett)(Diptera: Tephritidae)* (Doctoral dissertation, UNIVERSITY OF AGRICULTURAL SCIENCES GKVK, BENGALURU).

Symonds, M. R., Moussalli, A., & Elgar, M. A. (2009). The evolution of sex pheromones in an ecologically diverse genus of flies. *Biological Journal of the Linnean Society*, 97(3), 594-603.

Tanaka, N., Steiner, L. F., Ohinata, K., & Okamoto, R. (1969). Low-cost larval rearing medium for mass production of oriental and Mediterranean fruit flies. *Journal of Economic Entomology*, 62(4), 967-968.

Tang, C. K. (2012). Building Energy Efficiency technical Guideline for Passive Design (Draft 1). *Book.*, 1-30.

Treichel, M., Kist, B. B., Santos, C. D., Carvalho, C. D., & Beling, R. R. (2016). Anuário brasileiro da fruticultura 2016. *Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz*.

- Trigo, J. R., Bittrich, V., do Carmo Amaral, M., & Marsaioli, A. J. (2000). Ecología química. *Revista Chemkeys*, (3), 1-9.
- Thomson, L. A. J.; Evans, B. *Terminalia catappa*. In: Elevitch, C. (2006). Species profiles for Pacific island agroforestry. *Permanent Agriculture Resources series. Western Region Sustainable Agriculture Research and Education, Holualoa, Hawaii*.
- Toledo, J., Malo, E. A., Cruz-López, L., & Rojas, J. C. (2009). Field evaluation of potential fruit-derived lures for *Anastrepha obliqua* (Diptera: Tephritidae). *Journal of economic entomology*, 102(6), 2072-2077.
- Uramoto, K., Walder, J. M., & Zucchi, R. A. (2005). Análise quantitativa e distribuição de populações de espécies de *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) no campus Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. *Neotropical Entomology*, 34, 33-39.
- Urbaneja-Bernat, P., Cloonan, K., Zhang, A., Salazar-Mendoza, P., & Rodriguez-Saona, C. (2021). Fruit volatiles mediate differential attraction of *Drosophila suzukii* to wild and cultivated blueberries. *Journal of Pest Science*, 1-15.
- Valente, A. L. P., & Augusto, F. (2000). Microextração por fase sólida. *Química Nova*, 23, 523-530.
- Vaničková, L., do Nascimento, R. R., Hoskovec, M., Ježková, Z., Břízová, R., Tomčala, A., & Kalinová, B. (2012). Are the wild and laboratory insect populations different in semiochemical emission? The case of the medfly sex pheromone. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(29), 7168-7176.
- Vargas, R. I.; Prokopy, R. J.; Duan, J. J.; Albrecht, C. P.; LI, Q. X.(1998). Attraction of wild Mediterranean and Oriental fruit fly (Diptera:Tephritidae) to Jackson and McPhail traps baited with coffee liquid. Agricultural Research Service TEKTRAN, Honolulu, Hawaii.
- Veloso, V. R. S.; Fernandes, P. M.; Rocha, M. R.; Queiroz, M. V.; Silva, R. M. R. (1994). Armadilha para monitoramento de controle das moscas-dasfrutas *Anastrepha* ssp. e *Ceratitis capitata* (Wied.) Anais da Sociedade Entomológica do Brasil, Londrina-PR, v.23, n.3, p. 487-493.
- Vera, M.T., Cáceres, C., Wornoyaporn, V., Islam, A., Robinson, A.S., De La Veja, M.H., Hendrichs, J., Cayol, J.P. (2006). Mating incompatibility among populations of the south American fruit fly *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae). *Ann Entomol Soc Am* 99:387–397
- Vilanova, M., & Martínez, C. (2007). First study of determination of aromatic compounds of red wine from *Vitis vinifera* cv. Castanal grown in Galicia (NW Spain). *European Food Research and Technology*, 224(4), 431-436.
- Vilela, E. F., Della Lucia, T. M. C. (2001). Introdução aos semioquímicos e terminologia. In: VILELA, E. F. e DELLA LUCIA, T. M. C. eds. Feromônios de insetos: Biologia, Química e Emprego do Manejo Integrado de Pragas, 2ª edição, Ribeirão Preto: Holos, p. 9-12.

- Wallingford, A. K., Hesler, S. P., Cha, D. H., & Loeb, G. M. (2016). Behavioral response of spotted-wing drosophila, *Drosophila suzukii* Matsumura, to aversive odors and a potential oviposition deterrent in the field. *Pest management science*, 72(4), 701-706.
- Wetzel, W.C., Kharouba, H.M., Robinson, M., Holyoak, M. & Karban, R. (2016) Variability in plant nutrients reduces insect herbivore performance. *Nature* 539, 425–427.
- Wirth, J., Guo, W., Baumes, R., & Günata, Z. (2001). Volatile compounds released by enzymatic hydrolysis of glycoconjugates of leaves and grape berries from *Vitis vinifera* Muscat of Alexandria and Shiraz cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(6), 2917-2923.
- Witzgall, P., Kirsch, P., & Cork, A. (2010). Sex pheromones and their impact on pest management. *Journal of chemical ecology*, 36(1), 80-100.
- White, I. M., & Elson-Harris, M. M. (1992). *Fruit flies of economic significance: their identification and bionomics*. CAB International.
- Wu, Y., Duan, S., Zhao, L., Gao, Z., Luo, M., Song, S., ... & Wang, S. (2016). Aroma characterization based on aromatic series analysis in table grapes. *Scientific reports*, 6(1), 1-16.
- Yew, J. Y., & Chung, H. (2015). Insect pheromones: An overview of function, form, and discovery. *Progress in lipid research*, 59, 88-105.
- Zacharuk, R. Y. (1980). Ultrastructure and function of insect chemosensilla. *Annual review of entomology*, 25(1), 27-47.
- Zarbin, P. H. G. (2001). Extração, isolamento e identificação de substâncias voláteis de insetos. *Feromônios de Insetos: Biologia, Química e Emprego no Manejo de Pragas*, 2a ed, Holos, Ribeirao Preto, 45-50.
- Zarbin, P. H., Rodrigues, M. A., & Lima, E. R. (2009). Feromônios de insetos: tecnologia e desafios para uma agricultura competitiva no Brasil. *Química Nova*, 32, 722-731.
- Zarbin, P. H. G., Ferreira, J. T. B., & Leal, W. S. (1999). General methodologies employed on the isolation and structural identification of insects pheromones. *QUIMICA NOVA*, 22(2), 263-268.
- Zart, M., Fernandes, O. A., & Botton, M. (2010). Biology and fertility life table of the South American fruit fly *Anastrepha fraterculus* on grape. *Embrapa Uva e Vinho- Artigo em periódico indexado (ALICE)*.
- Zart, M., Botton, M., & Fernandes, O. A. (2011). Injúrias causadas por mosca-das-frutas sul-americana em cultivares de videira. *Bragantia*, 70, 64-71.

Zheng, H., Liu, H., Guo, S., Yan, Y., Zong, S., & Zhang, J. (2014). Scanning electron microscopy study of the antennal sensilla of *Catocala remissa*. *Bulletin of Insectology*, 67(1), 63-71.

Zucchi, R. A. (2000). Taxonomia. In: Malavasi, A.; Zucchi, R. A. (Ed.). *Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil: conhecimento básico e aplicado*. Ribeirão Preto: 13.

Zucchi, R.A. & Moraes, R.C.B. (2021). Fruit flies in Brazil - Hosts and parasitoids of the Mediterranean fruit fly. <http://www.lea.esalq.usp.br/ceratitis>.

Zucchi, R. A. & Moraes, R. C. B. (2021). Fruit flies in Brazil - *Anastrepha* species their host plants and parasitoids. <http://www.lea.esalq.usp.br/anastrepha>

Zucoloto, F. S. (2000). Alimentação e nutrição de Moscadadas-frutas. In: MALAVASI, A.; ZUCCHI, R.A. (Ed.). *Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil: conhecimento básico e aplicado*. Ribeirão Preto: Holos, p.67-80.