



INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS
MESTRADO PROFISSIONAL EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

SARA SOUZA PEREIRA

**PRODUÇÃO DE SUBSTRATO A PARTIR DE RESÍDUOS DE MANGA ROSA
PARA ADSORÇÃO DE MISTURAS DE SEMIOQUÍMICOS**

Marechal Deodoro – AL
Janeiro de 2026.



SARA SOUZA PEREIRA

**PRODUÇÃO DE SUBSTRATO A PARTIR DE RESÍDUOS DE MANGA ROSA
PARA ADSORÇÃO DE MISTURAS DE SEMIOQUÍMICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (Modalidade Mestrado Profissional) como requisito para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Jonnathan Duarte de Freitas
Coorientador: Profa. Dra. Nathaly Costa de Aquino Carlos

Marechal Deodoro – AL

Janeiro de 2026



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Alagoas
***Campus* Marechal Deodoro**
Biblioteca Dorival Apratto

634

P436p

Pereira, Sara Souza.

Produção de substrato a partir de resíduos de manga rosa para adsorção de misturas de semioquímicos / Sara Souza Pereira. – Dados eletrônicos (1 arquivo : 3.162 KB). – 2026.

Sistema requerido: Adobe Acrobat

Reader. Modo de acesso: Internet.

Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologias Ambientais) – Instituto Federal de Alagoas, *Campus* Marechal Deodoro, Marechal Deodoro, 2026.

Orientação: Prof. Dr. Jonnathan Duarte de Freitas.

Coorientação: Profa. Dra. Nathaly Costa de Aquino Carlos

1. Fruticultura. 2. Tefritídeos. 3. Dispositivo de liberação. 4. Compostos voláteis. I. Freitas, Jonnathan Duarte de. II. Carlos, Nathaly Costa de Aquino. III. Título.


SARA SOUZA PEREIRA

**PRODUÇÃO DE SUBSTRATO A PARTIR DE RESÍDUOS DE MANGA ROSA
PARA ADSORÇÃO DE MISTURAS DE SEMIOQUÍMICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (Modalidade Mestrado Profissional) como requisito para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais.


Aprovado em 02 de Janeiro de 2026.

Orientador:

Documento assinado digitalmente
 **JOHNNATAN DUARTE DE FREITAS**
Data: 16/04/2026 11:37:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Dr. Johnnatan Duarte de Freitas

Co-orientadora:


Documento assinado digitalmente
 **NATHALY COSTA DE AQUINO CARLOS**
Data: 16/04/2026 12:07:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr^a. Nathaly Costa de Aquino Carlos

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **ALAN JOHN DUARTE DE FREITAS**
Data: 17/04/2026 12:45:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Alan John Duarte de Freitas

Documento assinado digitalmente
 **RUTH RUFINO DO NASCIMENTO**
Data: 17/04/2026 11:11:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr^a. Ruth Rufino do Nascimento

Marechal Deodoro – AL

Janeiro de 2026

Dedico esta dissertação às pessoas que foram minha base ao longo desta jornada. À minha mãe, Luzia, pela motivação e apoio incondicional. Ao meu pai, Nildo, pela força e incentivo. Ao meu noivo, Murilo, pela paciência e companheirismo. Ao meu irmão, Benjamym, pela alegria e motivação. Amo vocês imensamente e sou eternamente grata por tudo.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Luzia Souza Pereira, por ser uma mulher forte, firme e segura, sempre ensinando com seu exemplo de resiliência e amor incondicional. Incentivando a lutar e seguir em frente, mesmo quando a caminhada era árdua e desafiadora.

Ao meu pai, José Nildo da Silva Pereira, pois sempre fez o possível e o impossível para me educar, ensinando a ser uma pessoa trabalhadora e determinada. Com simplicidade, mostrou o valor da disciplina e da dedicação, princípios fundamentais para a minha formação humana.

Ao meu noivo, Murilo de Andrade Carvalho, por ser meu companheiro incansável. Sempre me motivando a seguir adiante, com carinho, paciência e compreensão, especialmente nos momentos em que senti fraqueza ou falta de forças para continuar. Sem ele, a jornada teria sido muito mais difícil e solitária.

Ao irmão, Benjamym Souza Pereira, que tanto amo, pela existência e pelo apoio constante, mesmo com um simples abraço e sorriso. Ele me inspira a ser uma pessoa melhor e é uma referência de amor incondicional.

Ao meu orientador, Johnnatan Duarte de Freitas, por toda paciência, dedicação e comprometimento durante essa jornada. Por ter acreditado e investido tanto tempo e esforço no meu desenvolvimento acadêmico e pessoal, me motivando a buscar mais e a nunca me contentar com o mínimo. Seu apoio foi essencial para chegar até aqui.

À minha co-orientadora, Nathaly Costa de Aquino Carlos, por estar sempre ao meu lado, guiando e corrigindo com tanto cuidado e atenção. Me mostrou o valor da união e da colaboração para alcançar os objetivos, ensinou a importância de trabalhar em equipe e, como mulher, me inspirou a seguir em frente com confiança e determinação, sempre buscando meu melhor.

À minha família, por estar sempre ao lado, oferecendo apoio e amor em todos os momentos. Me incentivaram a nunca desistir e a acreditar nos meus sonhos, mesmo

nos períodos mais difíceis. O apoio incondicional de todos fortaleceu e deu forças para continuar.

Ao IFAL - Campus Maceió, por disponibilizar os recursos necessários, como equipamentos e reagentes, para a realização da pesquisa. Destaco Izabella de Oliveira Gonçalves, que contribuiu de forma significativa nas análises dos equipamentos e nas caracterizações do material, além de oferecer suporte técnico e colaboração constante em todas as demais etapas da pesquisa. Registro, ainda, meu agradecimento pela dedicação, empenho e profissionalismo demonstrados, os quais foram fundamentais para o desenvolvimento e a qualidade do trabalho realizado, e Clara Andrezza Crisóstomo Bezerra Costa, que além de auxiliar, me inspirou com sua trajetória de vida acadêmica, sendo minha inspiração.

A parceria com a Universidade Federal de Alagoas também foi fundamental, especialmente no Laboratório de Ecologia Química e a professora Ruth Rufino do Nascimento, que proporcionaram um ambiente de aprendizado e desenvolvimento de alto nível.

À equipe do Laboratório de Ecologia Química da UFAL — Jéssica de Lima Santos, Rafael Augusto Nóbrega Tavares, Letícia Alves Wanderley, Rhanderson Tiago Felix Narciso, Jarlandisson Oliveira Almeida e Guilherme Antonio de Oliveira Lopes — por todo o apoio e parceria ao longo desta jornada. Agradeço não apenas pelos conhecimentos compartilhados e pela ajuda nas técnicas e processos, mas também pela disposição em estar presente nos momentos mais desafiadores. Sem o carinho, a paciência e o companheirismo de vocês, muitos obstáculos teriam sido muito mais difíceis de superar.

Ao técnico de laboratório, José Joubert de Alencar Gonçalves, por ensinar tantas lições valiosas e sempre estar disposto a compartilhar seus conhecimentos de maneira atenciosa.

Aos professores do programa de pós-graduação em Tecnologia Ambiental (PPGTEC), que proporcionaram uma formação de qualidade e conhecimento profundo na área de Tecnologias Ambientais.

RESUMO

A fruticultura ocupa posição de destaque na economia brasileira, contribuindo significativamente para o mercado interno e as exportações; entretanto, é severamente impactada pelo ataque de insetos-praga, especialmente *Anastrepha obliqua*, responsável por perdas expressivas ao afetar principalmente culturas frutíferas como manga, cajá e seriguela. O controle dessas pragas tem sido tradicionalmente baseado no uso intensivo de pesticidas químicos. Nesse contexto, a adoção de estratégias mais sustentáveis, como o Manejo Integrado de Pragas (MIP), demanda o desenvolvimento de novas tecnologias que conciliem eficiência no controle e redução de impactos ambientais. O presente trabalho objetivou desenvolver e avaliar um substrato adsorvente à base de resíduos de casca de manga rosa, associado ou não à quitosana, destinado à adsorção e liberação controlada de misturas semioquímicas formadas pela combinação de feromônio sexual de machos e cairomônios da manga rosa. Foram utilizados pó de casca de manga nos estágios verde e maduro, além de formulações híbridas contendo 50% de casca e 50% de quitosana. As misturas sintéticas de semioquímicos avaliadas (M1, M2, M3 e M4) foram formuladas a partir de compostos previamente identificados através de eletroantenografia (α -pineno, β -mirceno, canfeno, sabineno, linalol, 1-heptanol, (Z)-3-nonen-1-ol e α -farneseno). A caracterização físico-química foi realizada por meio das técnicas de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), Análise Termogravimétrica (TG) e Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC). As análises de MEV evidenciaram superfícies irregulares e elevada rugosidade nos pós das cascas de manga e na quitosana. Os espectros de FTIR indicaram a presença de grupos funcionais polares semelhantes entre os materiais, principalmente hidroxilas ($-\text{OH}$), carbonilas ($\text{C}=\text{O}$) e aminas ($-\text{NH}_2$). Os resultados de TG demonstraram perfis de perda de massa semelhantes para as amostras de manga rosa verde e madura. A análise de DSC permitiu identificar eventos térmicos. Os resultados indicaram que o pó da casca de manga rosa verde, especialmente na matriz híbrida com quitosana, é mais eficiente em evidenciar os semioquímicos das misturas, com destaque para a mistura M2.

Palavras-chave: Fruticultura; Tefritídeos; Dispositivos de liberação; Compostos voláteis.

ABSTRACT

Fruit farming occupies a prominent position in the Brazilian economy, contributing significantly to the domestic market and exports; however, it is severely impacted by insect pests, especially *Anastrepha obliqua*, responsible for significant losses, mainly affecting fruit crops such as mango, cajá, and seriguela. The control of these pests has traditionally been based on the intensive use of chemical pesticides. In this context, the adoption of more sustainable strategies, such as Integrated Pest Management (IPM), demands the development of new technologies that reconcile efficiency in control and reduction of environmental impacts. This work aimed to develop and evaluate an adsorbent substrate based on pink mango peel waste, associated or not with chitosan, intended for the adsorption and controlled release of semiochemical mixtures formed by the combination of male sex pheromones and kairomones from pink mango. Mango peel powder in green and mature stages was used, as well as hybrid formulations containing 50% peel and 50% chitosan. The evaluated synthetic mixtures of semiochemicals (M1, M2, M3, and M4) were formulated from compounds previously identified through electroantennography (α -pinene, β -myrcene, camphene, sabinene, linalool, 1-heptanol, (Z)-3-nonen-1-ol, and α -farnesene). Physicochemical characterization was performed using Scanning Electron Microscopy (SEM), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Thermogravimetric Analysis (TG), and Differential Scanning Calorimetry (DSC). SEM analyses revealed irregular surfaces and high roughness in the mango peel powders and chitosan. FTIR spectra indicated the presence of similar polar functional groups among the materials, mainly hydroxyls (-OH), carbonyls (C=O), and amines (-NH₂). TG results demonstrated similar mass loss profiles for green and ripe pink mango samples. DSC analysis allowed the identification of thermal events. The results indicated that the green pink mango peel powder, especially in the hybrid matrix with chitosan, is more efficient in highlighting the semiochemicals of the mixtures, particularly the M2 mixture.

Keywords: Fruit growing; Tephritides; Release devices; Volatile compounds.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 01.** Representação morfológica da *Anastrepha obliqua*.
- Figura 02.** Ciclo de vida da *Anastrepha obliqua*.
- Figura 03.** Danos diretos e indiretos das moscas-das-frutas na manga.
- Figura 04.** Mangueira e manga da variedade Manga Rosa.
- Figura 05.** Processo de cultivo da manga.
- Figura 06.** Estrutura do Manejo Integrado de Pragas (MIP).
- Figura 07.** Organograma de classificação dos biopesticidas.
- Figura 08.** Classificação dos semioquímicos.
- Figura 09.** Componentes do feromônio que são encontrados em espécies de *Anastrepha*.
- Figura 10.** Compostos encontrados no cairomônio da manga.
- Figura 11.** Representação da fórmula estrutural da quitosana.
- Figura 12.** Organograma metodológico do trabalho.
- Figura 13.** Mangueira da coleta de frutos
- Figura 14.** Frutos infestados com tefritídeos acondicionados em uma gaiola de isopor.
- Figura 15.** Arenas de vidro com *Anastrepha obliqua*.
- Figura 16.** Frutos de *Mangifera indica* L., variedade manga-rosa.
- Figura 17.** Cápsulas de porcelanas contendo 2g de casca de manga das variedades Tommy Atkins, Palmer e rosa, nos estágios de maturação da fruta.
- Figura 18. A.** Balança analítica Shimadzu ATX/ATY; **B.** Balança térmica Shimadzu MOC63u e **C.** Balança térmica na parte interna contendo 0,5g de casca de manga.
- Figura 19.** Processo de secagem das amostras das três amostras de manga
- Figura 20.** Processo de separação granulométrica no tamisador com peneiras de 16 a 100 mesh (A); processo contínuo de maceração (B); e pó das três variedades de manga acondicionado em frascos de conservação (C).
- Figura 21.** Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do pó de manga Rosa (MR) no estágio de maturação madura (M) apresentadas nas ampliações correspondentes às escalas de 200, 50 e 10 μ m.
- Figura 22.** Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do pó de manga Rosa (MR) (50%) no estágio de maturação madura (M), contendo extrato vegetal e 50% de quitosana, apresentadas nas ampliações correspondentes às escalas de 200, 50 e 10 μ m.

Figura 23. *Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do pó de manga Rosa (MR) contendo extrato vegetal, apresentadas nas ampliações correspondentes às escalas de 200, 50 e 10 μm .*

Figura 24- Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos pós de manga Rosa (MR), no estágio de maturação madura (M), referentes à proporção de 50% do pó da casca de manga Rosa madura (MRM) e 50% de quitosana, correspondentes às misturas M1, M2, M3 e M4.

Figura 25- Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos pós de manga Rosa (MR), no estágio de maturação madura (M), referentes à proporção de 100% do pó da casca de manga Rosa madura (MRM) e às misturas M1, M2, M3 e M4.

Figura 26. *Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do pó de manga Rosa (MR) no estágio de maturação verde (V) apresentadas nas ampliações correspondentes às escalas de 200, 50 e 10 μm .*

Figura 27. *Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do pó de manga Rosa (MR) (50%) no estágio de maturação verde (V), contendo extrato vegetal e quitosana (50%), apresentadas nas ampliações correspondentes às escalas de 200, 50 e 10 μm .*

Figura 28. *Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do pó de manga Rosa (MR) no estágio de maturação verde (V), contendo extrato vegetal apresentadas nas ampliações correspondentes às escalas de 200, 50 e 10 μm .*

Figura 29- Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos pós de manga Rosa (MR), no estágio de maturação verde (V), referentes à proporção de 50% do pó da casca de manga Rosa verde (MRV) e 50% de quitosana, correspondentes às misturas M1, M2, M3 e M4.

Figura 30- Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos pós de manga Rosa (MR), no estágio de maturação Verde (V), referentes à proporção de 100% do pó da casca de manga Rosa verde (MRV) e às misturas M1, M2, M3 e M4.

Figura 31. Análise MEV do pó de quitosana nas resoluções de (500, 50 e 10) μm .

Figura 32. FTIR das formulações do pó de MRV puro e MRV 50% associados às misturas M1, M2, M3 e M4.

Figura 33. FTIR das formulações do pó de MRM puro e MRM 50% associados às misturas M1, M2, M3 e M4.

Figura 34. FTIR do pó de Quitosana

Figura 35. Curvas de TG das amostras de MRM e MRV.

Figura 36. Curvas de TG das formulações de MRM.

Figura 37. Curvas de TG das formulações de MRV.

Figura 38. Curvas de DSC das amostras de MRV e MRM.

Figura 39. Atratividade de fêmeas de *Anastrepha obliqua* em resposta a formulações constituídas por 50% de pó da casca de manga madura e 50% de quitosana, bem como às respectivas misturas avaliadas.

Figura 40. Atratividade de fêmeas de *Anastrepha obliqua* em resposta a formulações constituídas por 50% de pó da casca de manga verde e 50% de quitosana, bem como às respectivas misturas avaliadas.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Distribuição de espécies do gênero *Anastrepha* no Brasil.

Tabela 02. Famílias de frutos hospedeiros registrados para *Anastrepha obliqua* no Brasil.

Tabela 03. Tipos de armadilhas utilizadas no monitoramento de moscas-das-frutas.

Tabela 04. Formas de utilização dos semioquímicos

Tabela 05. Quantidade de amostras de cada variedade de manga levadas a estufa.

Tabela 06. Formulações de compostos utilizados nos ensaios comportamentais.

Tabela 07. Análise morfológica do pó de manga rosa e implicações na adsorção de semioquímicos

Tabela 08. Principais etapas de degradação e perda de massa das amostras de MRM e MRV.

Tabela 09. Liberação de compostos voláteis por SPME na manga-rosa madura

Tabela 10. Liberação de compostos voláteis por SPME na manga-rosa verde.

Tabela 11. Comparação da liberação de compostos voláteis: manga-rosa madura versus verde

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

CLAE	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência
CRS	Sistema de Liberação Controlada
DSC	Calorimetria Exploratória Diferencial
GC-MS	Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas
EQ	Ecologia Química
FTIR	Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MIP	Manejo Integrado de Pragas
MRM	Manga Rosa Madura
MRV	Manga Rosa Verde
M1	Mistura 1
M2	Mistura 2
M3	Mistura 3
M4	Mistura 4
PIB	Produto Interno Bruto
PIPs	Protetores incorporados em plantas
SPME	Microextração em Fase Sólida
TG	Termogravimetria
TIE	Técnica do Inseto Estéril

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 - MOSCAS-DAS-FRUTAS: PRINCIPAIS ESPÉCIES, HOSPEDEIROS E DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA.....	16
2.2 - PLANTA HOSPEDEIRA: Manga (<i>Mangifera indica</i> L.).....	22
2.3 - ESTRATÉGIAS DE CONTROLE - MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS (MIP).....	25
2.3.1 - Controle cultural.....	27
2.3.2 - Controle químico.....	27
2.3.3 - Controle biológico.....	29
2.3.4 - Controle com semioquímicos.....	33
2.4 - SUBSTRATOS PARA LIBERAÇÃO DE SEMIOQUÍMICOS.....	40
3. OBJETIVOS.....	44
3.1 - OBJETIVO GERAL.....	44
3.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	44
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	44
4.1 - COLETAS E MANUTENÇÃO DE INSETOS.....	46
4.1.1 - Coleta em campo.....	46
4.1.2 - Manutenção de populações de <i>Anastrepha obliqua</i>	48
4.1.3 - Coleta de frutos para obtenção dos insetos.....	49
4.1.4 - Coleta de frutos para obtenção do extrato de manga (<i>Mangifera indica</i> L.).....	50
4.2 - PRODUÇÃO DO SUBSTRATO.....	51
4.2.1 - Secagem.....	51
4.2.2 - Processamento físico dos pós.....	54
4.2.3 - Obtenção do nanocompósito quitosana/pó de manga.....	55
4.3 - CARACTERIZAÇÕES FÍSICAS.....	55
4.3.1 - Análises Termogravimétrica - TGA.....	56
4.3.2 - Análise de Calorimetria Exploratória Diferencial - DSC.....	56
4.3.3 - Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier - FTIR.....	56
4.3.4 - Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV.....	56
4.4 - PREPARO DAS SOLUÇÕES DOS SEMIOQUÍMICOS.....	57
4.4.1 - Coleta dos compostos voláteis emitidos por frutos de manga (<i>Mangifera indica</i>).....	57
4.4.2 - Coleta do feromônio sexual de machos de <i>A. obliqua</i>	57
4.4.3 - Preparo de formulações atrativas para os bioensaio comportamentais.....	58
4.4.4 - Microextração em Fase Sólida - SPME.....	59
4.5 - BIOENSAIOS COMPORTAMENTAIS.....	60
4.6 - ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	61
5. RESULTADOS.....	62
6. CONCLUSÃO.....	96
8. ANEXOS.....	122
8.1 - Depósito de patente (Produto Técnico e Tecnológico - PTT).....	122
8.2 - Apresentação de trabalho em evento científico nacional (CBQ).....	123

1. INTRODUÇÃO

A fruticultura no Brasil atua como um setor estratégico na produção de alimentos, contribuindo de forma expressiva para o Produto Interno Bruto (PIB) da agricultura. Além de sua relevância econômica, o setor é responsável por aproximadamente 40% da força de trabalho agrícola nacional, consolidando-se como um dos pilares da produção no país (SANTANA, 2023; DE AQUINO, 2022). Atualmente, o Brasil ocupa a terceira posição entre os maiores produtores de frutas do mundo, alcançando uma média anual de 45 milhões de toneladas, das quais cerca de 35% são destinadas à exportação e 65% ao consumo interno (EMBRAPA, 2021).

No cenário internacional, a fruticultura brasileira destaca-se pela ampla variedade de produtos exportados, incluindo laranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck), melão (*Cucumis melo*), uva (*Vitis*), limão (*Citrus limon*), maçã (*Malus domestica*) e manga (*Mangifera indica* L.) (MONTEFERRANTE, 2024; VIDAL, 2023; GHIRLARDI, 2024; OLIVEIRA, 2005). Apesar da elevada produção frutícola, o Brasil ocupa apenas a 23ª posição no ranking mundial de exportadores. O principal fator que limita esse avanço é a incidência de pragas agrícolas, que afetam diretamente a qualidade dos frutos e dificultam o cumprimento das exigências fitossanitárias dos mercados internacionais. Embora aspectos logísticos e estruturais também influenciem esse cenário, são as pragas que mais restringem o acesso a países com padrões rigorosos de importação, reduzindo a competitividade brasileira no comércio exterior (DE MORAES, 2024; VITTI, 2009; ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2018; GONZAGA, 2017).

Entre essas pragas, destacam-se as moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae), cuja presença causa prejuízos econômicos, estimados em aproximadamente 120 milhões de dólares anuais no Brasil e mais de 2 bilhões de dólares mundialmente (MOSCAMED, 2019; RAGA, 2005; SILVA, 2017; BARRETO, 2011). Dentre as espécies de maior impacto, *Anastrepha obliqua* está entre as mais relevantes economicamente, sobretudo na cultura da manga, na qual é considerada uma das principais espécies hospedeiras. Além dos danos diretos, a presença de *A. obliqua* representa um sério entrave comercial, uma vez que países importadores como Estados Unidos, Japão e membros da União Europeia mantêm rigorosas exigências fitossanitárias para evitar a entrada de pragas quarentenárias (ALMEIDA, 2019; CAMPANHOLA, 2003; HIZUKURI, 2022).

Para atender a essas exigências e garantir a qualidade dos frutos destinados à exportação, o Manejo Integrado de Pragas (MIP) é amplamente utilizado, integrando diferentes estratégias de controle (PICANÇO, 2008). O controle químico ainda é amplamente empregado, embora seu uso contínuo resulte em problemas como resistência, impactos ambientais e riscos à saúde humana (ZUCCHI, 2024; DEL FIORI, 2025; SILVA, 2010).

Diante desse cenário, cresce o interesse por alternativas mais sustentáveis e eficientes. A liberação controlada de semioquímicos surge como uma tecnologia promissora, especialmente quando associada ao uso de matrizes biodegradáveis (DE AQUINO, 2019; BATISTA, 2015). Polissacarídeos naturais e biomassas lignocelulósicas, como a quitosana e a lignina, apresentam potencial para a formulação de sistemas de liberação gradual, por suas propriedades físico-químicas, sustentabilidade e baixo custo (HASSANI et al., 2012; CAMPOS et al., 2015, SANTOS, 2022).

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo desenvolver um substrato inovador, obtido pela combinação do pó das cascas de manga com quitosana, destinado à adsorção e liberação controlada de misturas de semioquímicos atrativos para *Anastrepha obliqua*. Esses semioquímicos têm origem nos compostos voláteis naturais característicos da manga rosa, reconhecidos por sua capacidade de atrair moscas-das-frutas. A obtenção e incorporação desses voláteis ao substrato busca favorecer a liberação gradual e eficiente dos atrativos, contribuindo para o manejo sustentável da praga e reduzindo a dependência de inseticidas químicos convencionais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - MOSCAS-DAS-FRUTAS: PRINCIPAIS ESPÉCIES, HOSPEDEIROS E DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA

As moscas-das-frutas de importância econômica global estão classificadas em seis gêneros principais: *Dacus*, *Bactrocera* (Newman, 1834), *Ceratitis* (Wiedemann, 1824), *Toxotrypana*, *Anastrepha* (Schiner, 1868) e *Rhagoletis* (CUNHA *et al.*, 1993; ZUCCHI, 2000). No Brasil, os gêneros *Ceratitis* e *Anastrepha* são os mais relevantes economicamente. Os gêneros *Bactrocera* e *Ceratitis* possuem apenas 1 espécie registrada, enquanto *Rhagoletis* e *Anastrepha* são representados por 4 e 94 espécies, respectivamente. O gênero *Anastrepha* engloba espécies que infestam grande parte das frutíferas cultivadas no país (ZUCCHI, 2000) (Tabela 01).

Tabela 1. Distribuição de espécies do gênero *Anastrepha* no Brasil.

Estado	Sigla	Nº de espécies
Acre	AC	5
Alagoas	AL	3
Amapá	AP	37
Amazonas	AM	36
Bahia	BA	31
Ceará	CE	4
Espírito Santo	ES	39
Goiás	GO	17
Maranhão	MA	17
Mato Grosso	MT	18
Mato Grosso do Sul	MS	24
Minas Gerais	MG	31

Pará	PA	21
Paraíba	PB	6
Paraná	PR	9
Pernambuco	PE	9
Piauí	PI	17
Rio de Janeiro	RJ	26
Rio Grande do Norte	RN	12
Rio Grande do Sul	RS	18
Rondônia	RO	8
Roraima	RR	24
Santa Catarina	SC	26
São Paulo	SP	36
Sergipe	SE	1
Tocantins	TO	16

Fonte: ADAPTADO LEA-ESALQ/USP, 2025.

O gênero *Anastrepha*, endêmico das Américas, abriga cerca de 200 espécies, das quais 94 são registradas no Brasil. Sete delas apresentam grande impacto econômico: *A. grandis* (Macquart), praga de grande impacto na produção de manga (TEIXEIRA, 2021); *A. fraterculus* (Wiedemann), uma das mais comuns e prejudiciais à fruticultura nacional (CARDOSO, 2021); *A. obliqua* (Macquart), amplamente reportada devido à sua relevância econômica, destaca-se pelos danos diretos que causa aos frutos e pelas restrições fitossanitárias que impõe à comercialização e exportação. (SILVA, 2023; SANTOS, 2024; CORREIA, 2021). Essas espécies apresentam alta adaptabilidade e infestam uma grande variedade de hospedeiros, tornando-se um desafio significativo para o manejo integrado de pragas (LASA, 2021). No que se refere aos frutos hospedeiros, a espécie *Anastrepha obliqua*, está associada a uma quantidade significativa de hospedeiros no Brasil (Tabela 2).

Tabela 2. Famílias de frutos hospedeiros registrados para *Anastrepha obliqua* no Brasil.

Família botânica	Número de registros
Anacardiaceae	12
Oxalidaceae	1
Malpighiaceae	3
Myrtaceae	24
Rutaceae	2
Rosaceae	2
Apocynaceae	1
Combretaceae	1
Sapotaceae	1

Fonte: LEA-ESALQ/USP, 2025.

A diversidade de moscas-das-frutas no Brasil está diretamente relacionada às condições climáticas e à disponibilidade de hospedeiros nas diferentes regiões. No Nordeste, o clima quente e a expressiva produção de frutas tropicais, como manga, caju, goiaba e melão, favorecem a alta incidência dessas pragas, com destaque para o Vale do São Francisco, uma importante área de fruticultura irrigada entre Pernambuco e Bahia (URAMOTO, 2002; AZEVEDO, 2024).

No Sudeste, onde se concentram as produções de laranja, uva, pêssego e café, *Ceratitits capitata* predomina, especialmente em áreas de maior altitude nos estados de São Paulo e Minas Gerais, além da presença de espécies do gênero *Anastrepha*, que afetam a fruticultura regional (TORRES, 2004). No Sul, onde o clima temperado favorece a infestação, *A. fraterculus* representa a principal ameaça, impactando severamente os cultivos de maçãs e pêssegos, sobretudo no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina (BRANCO, 1998).

No Centro-Oeste, especialmente em Goiás, os cultivos de frutas tropicais e subtropicais, como goiaba, manga e citros, servem de hospedeiros para diversas espécies de moscas-das-frutas (CALLEGARO, 2013). Já a Região Norte, caracterizada pelo clima quente e úmido, apresenta ampla diversidade de frutíferas nativas e cultivadas, tornando-se um ambiente altamente propício à proliferação

dessas pragas. *A. obliqua* é amplamente registrada infestando mangas e cajus, enquanto a expansão comercial de frutos amazônicos, como açaí, cupuaçu e bacaba, pode aumentar a vulnerabilidade dessas culturas ao ataque de moscas-das-frutas (VIEIRA, 2010; THOMAZZINI, 2003).

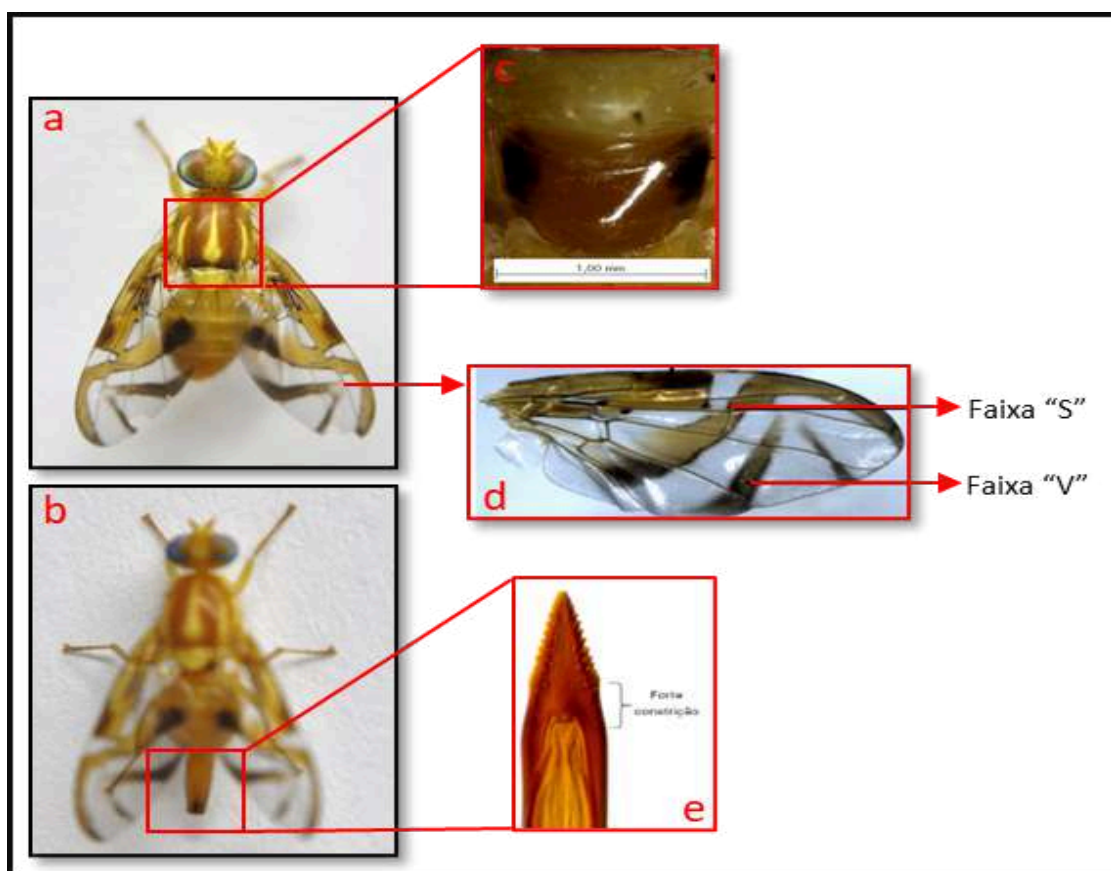
Segundo SANTOS (2022), foram registradas em Alagoas as espécies *Anastrepha fraterculus*, *Anastrepha obliqua*, *Anastrepha sororcula* e *Ceratitidis capitata* (GONÇALVES *et al.*, 2006). Registros indicaram a presença das espécies *Anastrepha antunesi* (Lima, 1938), *Anastrepha consobrina* (Loew, 1873), *Anastrepha pickeli* (Lima, 1939), *Anastrepha serpentina* (Wiedemann, 1830), *Anastrepha sororcula* (Zucchi, 1979) e *Anastrepha zenildae* (Zucchi, 1939). Esses espécimes foram encontrados em Maceió, Anadia, Arapiraca, Branquinha, Coruripe, Junqueiro, Palmeira dos Índios, Penedo, Santana do Mundaú e União dos Palmares. As moscas foram identificadas infestando frutos pertencentes às famílias botânicas Anacardiaceae, Euphorbiaceae, Malpighiaceae, Myrtaceae, Oxalidaceae, Passifloraceae e Sapotaceae (SANTOS, 2012; COSTA, 2010; BATISTA, 2016).

No que se refere a *A. obliqua*, segundo AQUINO (2019), a atratividade das fêmeas dessa espécie é condicionada pela liberação de feromônios sexuais pelos machos, um fator essencial para a compreensão de seu comportamento reprodutivo e estratégias de controle. Por ser altamente polífaga a *A. obliqua* tem registro de desenvolvimento em 49 espécies de frutos, ou seja tem uma ampla plasticidade ecológica, adaptando-se a diversos hospedeiros, como a mangueira (*Mangifera indica* L.), o jambo (*Jambosa* sp.), a goiabeira (*Psidium guajava* L.) e a caramboleira (*Averrhoa carambola* L.). No estado de Alagoas, os frutos mais atacados por essa espécie são a goiaba, a carambola e a manga (GONÇALVES, 2001).

A morfologia de *Anastrepha obliqua* (Figura 01) evidencia indivíduos adultos com corpo de dimensões reduzidas, variando entre 6 e 8 mm de comprimento, e coloração predominantemente amarelada, apresentando nuances alaranjadas ou acastanhadas (AQUINO, 2019). O tórax é caracterizado pela presença de faixas longitudinais escuras, enquanto a cabeça apresenta olhos compostos de tonalidade esverdeada ou azulada, antenas curtas e filiformes, além de aparelho bucal adaptado à sucção de líquidos. As asas, translúcidas, exibem padrões característicos de manchas ou faixas em tons marrons e amarelos (SOSA-GOMÉZ, 2014). O abdômen, por sua vez, apresenta estrias e faixas pigmentadas, destacando-se, nas fêmeas, a presença de um ovipositor desenvolvido e

pontiagudo, especializado na perfuração de frutos para a oviposição (SOUZA FILHO, 1999).

Figura 01. Representação morfológica da *Anastrepha Obliqua*.



Fonte: Aquino, 2019.

Conforme descrito por AQUINO (2019) (Figura 02), o ciclo de vida das moscas-das-frutas envolve uma metamorfose completa, passando por estágios distintos: ovo, larva, pupa e adultos, completando-se aproximadamente em um período de 30 dias. As fêmeas preferem frutos em estágio verde ou próximos da maturação para realizar a oviposição, causando danos irreversíveis à fruta ao inserirem o ovipositor na casca. Após a oviposição, ocorre o estágio de ovo, que dura de 1 a 2 dias. Quando os ovos eclodem, as larvas, com coloração branca a branca-amarelada e corpo liso, passam por três estágios de desenvolvimento dentro do fruto, com duração de 6 a 9 dias (DUTRA, 2012).

Durante esse período, as larvas se alimentam da polpa do fruto, criando galerias em seu interior. Ao atingirem a última fase larval, as larvas saem dos frutos e empupam no solo, a uma profundidade que varia de 2 a 6 cm. O período de

pupação varia de 10 a 15 dias e é influenciado por condições ambientais como temperatura e umidade do solo (SOUZA, 2017).

Figura 02. Ciclo de vida da *Anastrepha Obliqua*.



Fonte: Aquino, 2019.

Os danos diretos (Figura 3A) decorrem da infestação das frutas, quando as fêmeas depositam ovos em seu interior. As larvas alimentam-se da polpa, causando podridão e deterioração, o que pode levar à queda precoce dos frutos ou torná-los impróprios para consumo e comercialização (SILVA, 2022). Mesmo quando permanecem na planta até a colheita, a presença de larvas compromete a qualidade, tornando as frutas inadequadas para mercados exigentes, como Estados Unidos, União Europeia, Japão e China.

Os danos indiretos (Figura 3B) incluem a redução da produtividade, uma vez que a infestação diminui significativamente o número de frutos aproveitáveis, e o aumento dos custos de produção, envolvendo inseticidas, armadilhas e outras técnicas de manejo. Além disso, a presença da praga pode resultar na perda de mercados, pois países importadores exigem produtos livres de infestação (SOUSA, 2023).

Figura 03. Danos diretos e indiretos das moscas-das-frutas na manga.



Fonte: Autor (2025).

O uso excessivo de pesticidas também acarreta impactos ambientais significativos, como a contaminação do solo e da água, além de afetar espécies não-alvo, comprometendo não apenas os produtores, mas toda a cadeia de abastecimento (DA SILVA, 2021). Tais fatores evidenciam a necessidade de aprofundar os estudos voltados às espécies vegetais que funcionam como hospedeiras das moscas-das-frutas, com destaque para a mangueira (*Mangifera indica* L.), cultura de expressiva importância para a fruticultura brasileira.

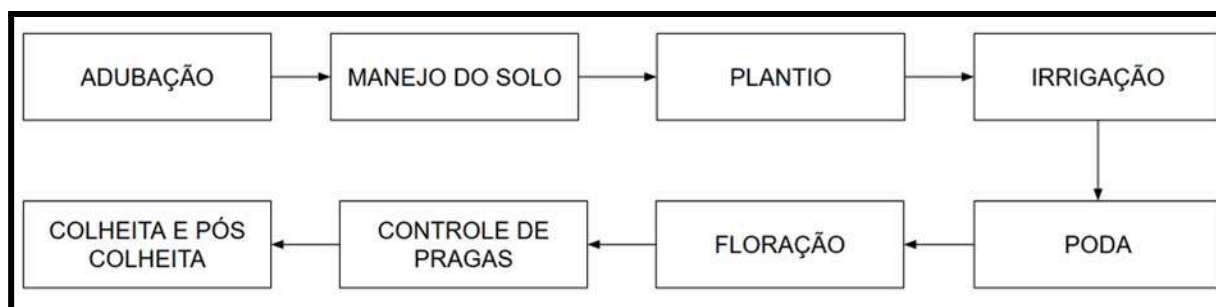
2.2 - PLANTA HOSPEDEIRA: Manga (*Mangifera indica* L.)

O Brasil é um dos maiores produtores de manga (*Mangifera indica* L.) do mundo (Figura 4), com destaque para estados como Bahia, São Paulo, Minas Gerais, Ceará e Pernambuco. As condições climáticas favoráveis permitem que a cultura seja cultivada ao longo de todo o ano, embora a produção principal ocorra de agosto a janeiro (DE LUCENA, 2023). Parte significativa da produção é destinada à exportação, com principais mercados nos países europeus, como Holanda, Reino Unido e Alemanha, além de países do Oriente Médio, Estados Unidos e Canadá. A manga brasileira é valorizada pela sua qualidade, sabor e diversidade de variedades (BARBIERI, 2024).

Figura 04. Mangueira e manga da variedade Manga Rosa.

Fonte: Autor (2025).

Do ponto de vista morfológico e nutricional, a manga apresenta formato oval ou ovóide, com peso médio entre 300 g e 600 g (CARVALHO, 2022). A polpa é de coloração amarela intensa, succulenta e firme, com poucas fibras, sendo utilizada tanto para consumo *in natura* quanto na indústria de alimentos (GOBIRA, 2021). O cultivo da manga (Figura 05) é um sistema integrado, que abrange desde a produção agrícola até a comercialização e industrialização, gerando emprego e estimulando o desenvolvimento regional (ARAÚJO, 2019). O manejo da cultura envolve práticas essenciais, incluindo adubação mineral e orgânica, preservação da fertilidade do solo, plantio de mudas de qualidade e variedades adaptadas à região, planejamento do espaçamento, irrigação localizada, poda e manejo de pragas e doenças (FAQUIN, 2009; ARAÚJO, 2020; DE CASTRO, 2010; LOPES, 2010).

Figura 05. Processo de cultivo da manga.

Fonte: Autor (2025).

As fases de floração e frutificação dependem de fatores como temperatura, nutrição e manejo hídrico, sendo o manejo adequado dessas etapas determinante para a obtenção de frutos de qualidade uniforme e elevada produtividade. No momento da colheita, aspectos como a determinação do ponto ideal de maturação, o método de corte, o cuidado no manuseio e a prevenção de danos mecânicos são essenciais para preservar a integridade dos frutos e evitar perdas. Já na pós-colheita, práticas como seleção, lavagem, classificação, embalagem, armazenamento e transporte asseguram a manutenção da qualidade e a ampliação da vida útil, garantindo competitividade nos mercados nacional e internacional (GENRO, 2009; ROSA, 2018; SANCHEZ, 2002).

Além do consumo *in natura* e da exportação, a manga é amplamente utilizada na indústria de processamento, sendo transformada em produtos como sucos, polpas, geleias, sorvetes e desidratados. O aproveitamento de excedentes e resíduos, incluindo cascas, sementes e bagaço, contribui para a economia circular, permitindo a produção de adubos orgânicos, alimentação animal, biogás, produtos farmacêuticos, cosméticos e materiais industriais, como papel e embalagens biodegradáveis (RICARDINO, 2020; DE JESUS, 2021, 2022; DA SILVA, 2023).

As cascas de manga, geradas em grande quantidade durante o processamento da fruta, constituem resíduos agroindustriais com relevante impacto ambiental quando descartadas inadequadamente (RICARDINO, 2020). Esse material contribui para o aumento de resíduos orgânicos e para a emissão de gases decorrentes de sua decomposição (ANDRADE, 2018). No entanto, a casca da manga apresenta elevado potencial de reaproveitamento por ser rica em fibras, polímeros naturais e compostos bioativos, características que favorecem seu uso como matriz para encapsulação e liberação de substâncias (OLIVEIRA, 2023).

Diante disso, o aproveitamento desse resíduo torna-se particularmente relevante no contexto da fruticultura, uma vez que possibilita associar sustentabilidade ambiental e inovação tecnológica. Considerando a importância econômica e nutricional da manga, a manutenção da sanidade da cultura é essencial para a sustentabilidade do setor, especialmente porque o controle da mosca-das-frutas (*Anastrepha obliqua*) constitui um dos principais fatores para evitar perdas e garantir a qualidade comercial dos frutos. Nesse cenário, utilizar a casca de manga como base para o desenvolvimento de um substrato capaz de adsorver e liberar semioquímicos atrativos configura uma alternativa estratégica, por integrar a redução de resíduos agroindustriais a um método mais sustentável de manejo da

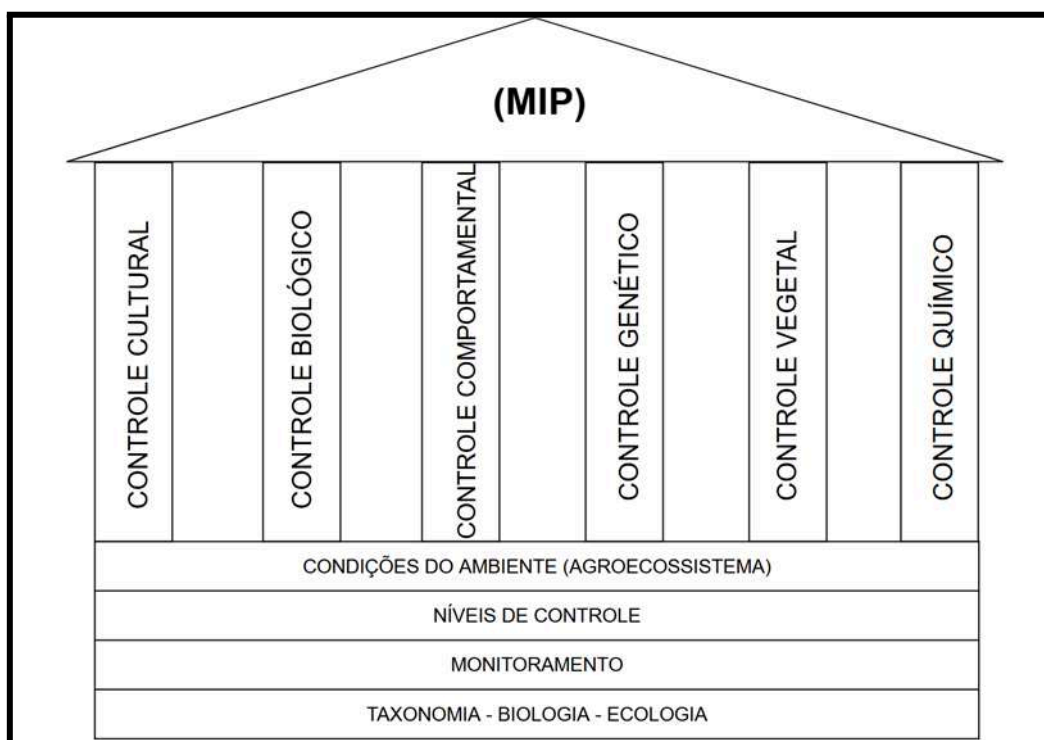
praga. Essa convergência reforça e justifica a proposta do trabalho, evidenciando sua relevância tecnológica, econômica e ambiental. (AULAR, 2003; SILVA, 2015; HASSANALI et al., 2008; RIFFEL & DA COSTA, 2015; NARANJO et al., 2015).

2.3 - ESTRATÉGIAS DE CONTROLE - MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS (MIP)

Historicamente, o controle das moscas-das-frutas tem sido realizado principalmente com inseticidas organofosforados, como malathion (Malathion 500 CE), fenitrothion (Sumithion 500 CE) e diazinon (Basudin 600 EW). No entanto, esse método apresenta elevados danos, como a persistência de resíduos nos frutos, o desequilíbrio ecológico e o surgimento de populações resistentes. Além disso, o uso indiscriminado de pesticidas, aliado à sua toxicidade e baixa biodegradabilidade, provoca impactos negativos ao meio ambiente e está associado ao desenvolvimento de diversas doenças (LADE, 2019; NICOLOPOULOU-SANTAMATI, 2016).

Diante desses problemas, torna-se essencial investir em estratégias de controle eficientes e sustentáveis, que minimizem impactos ambientais, econômicos e sociais. Essas estratégias devem priorizar a redução da degradação ambiental e a diminuição do uso excessivo de agroquímicos, promovendo alternativas viáveis. Nesse contexto, surge o Manejo Integrado de Pragas (MIP) como uma abordagem racional e eficaz para o controle desses insetos (PINHEIRO, 2023; SOBRINHO, 2001) (FIGURA 06).

Figura 06. Estrutura do Manejo Integrado de Pragas (MIP).



Fonte: Adaptado de FAZENDA (2014).

Em levantamento realizado em 16 de junho de 2025, no banco de dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), utilizando os termos “Control; *Anastrepha obliqua*”, foram identificadas 44 publicações, incluindo portarias, Planos de Defesa Agropecuária (PDA) e requisitos quarentenários para exportação de frutas para mercados como África do Sul, Coreia do Sul e Estados Unidos.

Complementarmente, foi realizada uma pesquisa no MAPA em 26 de junho de 2025, com foco no gênero *Anastrepha*, resultou em 319 registros, majoritariamente normativos ou vinculados a programas de extensão e defesa agropecuária. Entre os documentos de destaque, encontra-se a obra "Controle Biológico de Pragas na Agricultura" (FONTES, 2020), que aborda o uso de inimigos naturais e relata a introdução, em 1974, do parasitoide *Diachasmimorpha longicaudata* para o controle de *Ceratitidis capitata* no Brasil.

Outro documento relevante é o "Plano de Trabalho Fitossanitário para Exportação de Manga" (Agriculture, Forestry and Fisheries, 2016), que estabelece diretrizes de manejo para atender aos protocolos de exportação exigidos por países importadores, com destaque para o Nordeste, principal polo de fruticultura irrigada do país. Atualizações do Plano de Defesa Agropecuária (PDA) e informes do MAPA

(2022) indicam a expansão de áreas livres de mosca-das-frutas no Ceará e no Rio Grande do Norte, fortalecendo o manejo integrado no Vale do São Francisco. Na base de dados Scopus, em 26 de junho de 2025, a busca pelos termos “Control; *Anastrepha obliqua*” resultou em 135 publicações, com predominância de estudos sobre controle biológico e estratégias biorracionais.

Dessa forma, com base nos princípios já consolidados do Manejo Integrado de Pragas (MIP), constata-se que a eficiência no controle das moscas-das-frutas está diretamente associada à integração equilibrada de diferentes métodos, ajustados ao tipo de cultivo, ao nível de infestação e às condições ambientais locais.

2.3.1 - Controle cultural

Entre as estratégias que compõem o Manejo Integrado de Pragas, o controle cultural destaca-se como uma alternativa viável, especialmente para pequenos produtores, por envolver práticas simples e de baixo custo. Consiste na coleta e separação dos frutos saudáveis e deteriorados, sendo que os danificados devem ser enterrados a uma profundidade suficiente para impedir a emergência das larvas, reduzindo assim a população da praga de forma natural e sustentável (PARANHOS, 2013).

2.3.2 - Controle químico

Historicamente, a partir das décadas de 1940 e 1950, o desenvolvimento de pesticidas sintéticos organoclorados, como o dicloro-difenil-tricloroetano (DDT), representou uma revolução no controle de pragas devido à sua elevada eficácia na eliminação de insetos (TEIXEIRA, 2019). Entretanto, o uso contínuo desses compostos revelou impactos ambientais significativos, incluindo persistência prolongada no solo e na água, toxicidade a organismos não-alvo e estímulo à seleção de populações resistentes, reforçando a necessidade de estratégias de manejo mais sustentáveis e integradas (RAGA, 2016).

No manejo de *Anastrepha spp.*, diferentes grupos químicos continuam sendo utilizados, cada um com modo de ação específico (SCOZ, 2004). Organofosforados, como malationa e fenthion, interferem na transmissão nervosa ao inibir a colinesterase (JENSEN, 2010), enquanto piretroides, como lambda-cialotrina e deltametrina, alteram a permeabilidade dos canais de sódio nas células neuronais (CABRINI, 2013; VERMA, 2024). Inseticidas biológicos sintéticos, como o spinosad — derivado de metabólitos da bactéria *Saccharopolyspora spinosa* — provocam hiperatividade e morte dos insetos por contato ou ingestão (HERTLEIN, 2011).

Estudos com *Anastrepha fraterculus* indicam que diferentes grupos químicos apresentam alta eficiência no controle de adultos, sendo a via por ingestão a mais eficaz. Entre os compostos mais utilizados destacam-se etofenprox, imidacloprid, spinosad e thiamethoxam (EFRON, 2009; HARTER, 2015; MORELLI, 2012; NUNES, 2017; RAGA, 2005, 2011, 2018). Os organofosforados, como fenthion e trichlorfon, atingem 100% de mortalidade em todas as fases do desenvolvimento, mantendo sua eficácia por décadas, sem relatos consistentes de resistência (RAGA, 2006). Além disso, neonicotinóides têm se mostrado promissores no manejo das larvas, ampliando as opções químicas disponíveis (BOTTON, 2012; NONDILLO, 2007).

O monitoramento de *Anastrepha grandis* com armadilhas contendo proteína hidrolisada permite avaliar a densidade populacional da praga e determinar o limiar de ação, orientando o momento adequado para aplicação de iscas tóxicas ou inseticidas de cobertura (VALDEZ, 2025). Atualmente, a malationa é o único ingrediente ativo registrado para uso na cultura do pepino no Brasil, sendo o controle preventivo, baseado em monitoramento contínuo e aplicação criteriosa, essencial para a gestão eficaz da praga e a preservação da produtividade das cucurbitáceas (EMBRAPA, 2025). Inseticidas à base de piretróides, como a deltametrina, também são utilizados para o controle de *A. grandis* (ADAPAR, 2024; AGROLINK, 2024).

Em pomares de manga, o controle químico de *Anastrepha obliqua* é realizado principalmente por meio de iscas proteicas combinadas com inseticidas e atrativos alimentares (FLORES, 2024). A malationa atua como inibidor da acetilcolinesterase, comprometendo a transmissão nervosa e levando à morte do inseto, favorecendo a ingestão pelos adultos e reduzindo impactos sobre organismos benéficos (DÍAZ, 2017). O spinosad interfere no sistema nervoso através das espinosinas A e D, causando paralisia e morte. No Brasil, a malationa é o inseticida mais utilizado devido à sua disponibilidade e eficácia, enquanto o spinosad representa uma alternativa biorracional, mais seletiva e ambientalmente sustentável (GARCÍA-OLIVOS, 2024).

O uso indiscriminado de pesticidas químicos gera problemas como resíduos tóxicos nos frutos, desequilíbrio ecológico e seleção de populações resistentes (LADE, 2019; NICOLOPOULOU-SANTAMATI, 2016). Diante desses impactos, o MIP passou a orientar o emprego racional de inseticidas, aplicados apenas quando a população da praga ultrapassa níveis de ação pré-definidos, priorizando métodos focalizados, como iscas tóxicas e pulverizações direcionadas, que reduzem a exposição ambiental e preservam inimigos naturais. Esses inseticidas atuam

principalmente sobre a fase adulta da mosca-das-frutas, pois os adultos são responsáveis pela oviposição e constituem o ponto crítico do ciclo de vida da praga. (BARONIO, 2018; BOTON, 2012).

Embora eficazes, os inseticidas isoladamente não garantem sustentabilidade a longo prazo. Por isso, estratégias integradas — incluindo controle biológico e comportamental — são recomendadas como abordagens mais seguras e eficientes para o manejo de *Anastrepha* (AQUINO *et al.*, 2019; SILVA, 2022; SANTOS *et al.*, 2012; GONÇALVES, 2005; RODRIGUES *et al.*, 2023).

2.3.3 - Controle biológico

O controle biológico consiste na utilização de inimigos naturais para manter as populações de pragas abaixo do nível de dano econômico, constituindo uma alternativa sustentável e complementar ao controle químico (DE ANDRADE, 1985; FERNANDES, 2014). No manejo de moscas-das-frutas, himenópteros parasitóides, como *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead, 1905), *Doryctobracon areolatus* (Szépligeti, 1911) e *Utetes anastrephae* (Viereck, 1913), desempenham papel central ao localizar larvas de moscas e depositar ovos, provocando a morte do hospedeiro e a emergência de vespas adultas (DE ANDRADE, 1985; MURILLO, 2015).

Programas de criação massal de *D. longicaudata*, associados à Técnica do Inseto Estéril (SIT), demonstram eficácia na redução de populações de *Anastrepha ludens* (Loew, 1873) e, em combinação com *D. areolatus*, diminuem significativamente *Anastrepha suspensa* (Loew, 1873). *Doryctobracon areolatus* destaca-se no controle natural de *A. obliqua* e *A. fraterculus*, embora sua produção massal ainda não seja viável em laboratório, diferentemente de *D. longicaudata* (NUNES, 2011; SANTOS, 2016). *Utetes anastrephae* completa seu ciclo em larvas de *A. ludens* e *A. obliqua*, evidenciando potencial para liberação estratégica, apesar de também não existir produção em larga escala no Brasil (ESTRADA-MARROQUÍN, 2023; PÔNCIO, 2016).

Além dos parasitóides, agentes microbianos, como *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae*, nematoides entomopatogênicos (*Steinernema spp.* e *Heterorhabditis spp.*) e predadores generalistas, como formigas, aranhas e percevejos, contribuem para o controle de *A. obliqua*, reforçando a diversidade de inimigos naturais e promovendo um manejo sustentável (CORSATO, 2025; LEMOS, 2010; DE ALMEIDA, 2023).

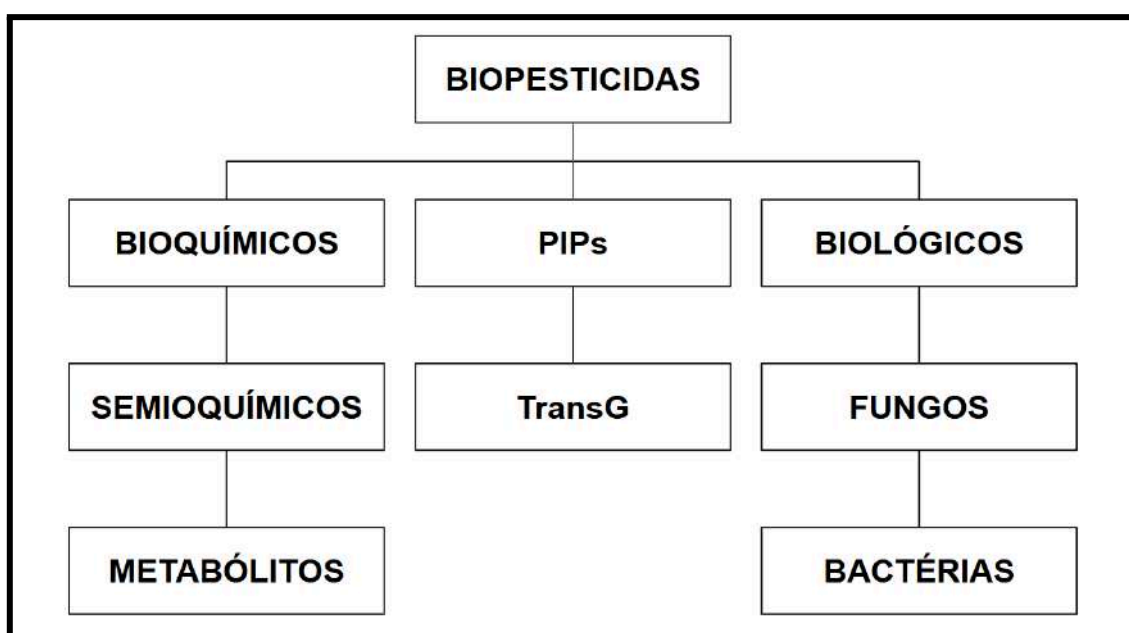
No contexto do Manejo Integrado de Pragas (MIP), estratégias genéticas e biotecnológicas representam ferramentas inovadoras e ambientalmente seguras.

Entre elas destacam-se a Técnica do Inseto Estéril (SIT), a edição genética por CRISPR e a RNA de interferência (RNAi), que permitem reduzir densidades populacionais sem comprometer o equilíbrio ecológico (PARANHOS, 2009).

A SIT baseia-se na criação massal de moscas, seguida de esterilização por radiação ionizante, explorando o comportamento de acasalamento das fêmeas adultas, de modo que a reprodução é inviabilizada quando acasalam com machos estéreis. Avanços tecnológicos, como a sexagem visual de pupas, permitem a liberação seletiva de machos (LEAL, 2018; IMPERATO, 2015). No Brasil, a SIT foi inicialmente aplicada para controle de *Ceratitis capitata* e, posteriormente, associada à liberação de parasitóides para manejo de *A. fraterculus* (ZUCCHI, 2023; NAVA, 2021).

Outra abordagem biotecnológica é o uso de biopesticidas, que podem ser biológicos, bioquímicos ou de plantas geneticamente modificadas (PIPs - Plant-Incorporated Protectants). Biopesticidas microbianos, como *Bacillus thuringiensis* e *Beauveria bassiana*, atuam parasitando, infectando ou competindo com pragas, sendo altamente específicos, biodegradáveis e de baixo impacto ambiental (GHARIB, 2024; FERREIRA, 2022). Os PIPs, por sua vez, incorporam genes que conferem resistência às plantas, como no milho Bt, que expressa toxinas letais a determinadas pragas, reduzindo o uso de inseticidas químicos (ALI, 2024; NELSON, 2014).

Figura 07. Organograma de classificação dos biopesticidas.



Fonte: Adaptado de SANTOS (2022).

Os biopesticidas representam alternativas sustentáveis aos inseticidas químicos, podendo ser classificados em diferentes categorias conforme sua origem e modo de ação. Entre eles destacam-se os biopesticidas biológicos (microbianos), obtidos a partir de organismos vivos como bactérias, fungos, vírus e nematóides, que infectam, parasitam ou competem com as pragas. Entre os exemplos mais conhecidos estão *Bacillus thuringiensis*, que produz toxinas específicas para larvas de insetos, e *Beauveria bassiana*, que infecta e elimina diversas espécies de moscas-das-frutas. Esses agentes apresentam alta especificidade, são biodegradáveis e causam baixo impacto ambiental, sendo amplamente utilizados no Manejo Integrado de Pragas (MIP) (GHARIB, 2024; FERREIRA, 2022).

Outra categoria importante são os biopesticidas bioquímicos, compostos naturais que regulam o comportamento ou metabolismo das pragas, interferindo em processos como alimentação, reprodução e orientação. Eles podem ser extraídos de plantas, microrganismos ou produzidos sinteticamente e atuam de forma seletiva, complementando ou substituindo o uso de pesticidas químicos (REIS, 2017; DA SILVA, 2024).

Dentro dessa categoria, os semioquímicos desempenham papel fundamental. São compostos químicos que modulam o comportamento das pragas, podendo atrair, repelir ou confundir os insetos, sendo utilizados em armadilhas ou em estratégias de manipulação comportamental. Feromônios sexuais, aleloquímicos e atrativos alimentares direcionam os insetos para locais específicos, favorecendo o monitoramento e o controle seletivo, enquanto preservam inimigos naturais (LANDOLT, 1992, 1997).

Os metabólitos secundários, produzidos por plantas ou microrganismos, constituem outra ferramenta biorracional. Esses compostos podem apresentar efeito tóxico ou desestabilizar o desenvolvimento das pragas, funcionando como repelentes naturais ou agentes inseticidas, sendo integráveis a programas de manejo sustentável (FERREIRA, 2022).

Os Plant-Incorporated Protectants (PIPs) ou plantas transgênicas expressam genes que conferem resistência a pragas, como no caso do milho Bt, que produz toxinas derivadas de *Bacillus thuringiensis*. Essas plantas oferecem proteção contínua, reduzem a necessidade de inseticidas químicos e apresentam baixo impacto ambiental, sendo aplicáveis dentro de estratégias integradas de manejo (ALI, 2024; NELSON, 2014).

O monitoramento das populações de moscas-das-frutas é essencial para a aplicação eficiente dessas ferramentas. Armadilhas adesivas, Steiner, McPhail e Jackson, combinadas com atrativos alimentares ou paraferomônios, permitem identificar a densidade populacional e o momento ideal de intervenção. As armadilhas McPhail e Jackson são particularmente utilizadas para *Anastrepha fraterculus* e *Ceratitidis capitata*, integrando as estratégias de controle biorracional ao manejo de campo (SENAR, 2016; AQUINO, 2019).

Para assegurar a eficácia desse manejo, seguem-se os procedimentos estabelecidos na Instrução Normativa nº 20, de 13 de julho de 2010, que define diretrizes para a implantação, manutenção e aplicação de medidas integradas dentro de um sistema de controle sustentável e tecnicamente orientado. Nesse contexto, as estratégias de controle das moscas-das-frutas abrangem os métodos químico, biológico, cultural, genético e semioquímico (Tabela 3) (BRAGA, 2001), complementados por ferramentas de monitoramento, como armadilhas adesivas, McPhail, Jackson e Steiner, amplamente utilizadas na detecção e acompanhamento populacional dessas pragas (AQUINO, 2019).

Tabela 3. Tipos de armadilhas utilizadas no monitoramento de moscas-das-frutas.

ARMADILHA	VANTAGEM	DESVANTAGEM
Adesiva	Apresenta uma combinação de cores	A eficiência de capturar insetos é reduzida a medida que estes ficam presos na cola, além de perder o poder adesivo com o tempo; poeira e chuvas
McPhail	O líquido atraente pode conter inseticida para acelerar a morte da mosca e capturar ambos os sexos	Raio de atração é mais limitado
Jackson	Boa eficiência na captura de moscas das frutas, com fácil manejo e o custo baixo.	Em altas populações, a lâmina de papel rígido com o adesivo fica completamente coberta com moscas e perde a eficiência de captura.
Steiner	Capturar um elevado número de insetos, sem diminuir sua capacidade de captura, como ocorre em outros modelos	Elevado custo

Fonte: Adaptado de Sobrinho (2010)

Do ponto de vista agrícola, compreender as pragas e os métodos de controle é essencial para reduzir perdas de rendimento e os danos causados às culturas (LADE, 2019). Nesse contexto, a interação entre moscas-das-frutas e seus hospedeiros envolve substâncias químicas conhecidas como semioquímicos, que atuam como atraentes e moduladores comportamentais, influenciando diretamente atividades reprodutivas e alimentares (LANDOLT, 1992, 1997). Portanto, o conhecimento sobre essas interações químicas não apenas facilita o monitoramento das populações, mas também fundamenta estratégias de manejo inovadoras e direcionadas, como o controle com semioquímicos.

2.3.4 - Controle com semioquímicos

Na área da Ecologia Química (EQ), o emprego de semioquímicos tem se consolidado como uma alternativa eficaz e ambientalmente sustentável no manejo de insetos-praga. Esses compostos, geralmente atóxicos e liberados em quantidades extremamente reduzidas, desempenham papel essencial na mediação da comunicação intra e interespecífica entre os insetos, podendo atuar como atrativos ou repelentes. Tais substâncias contribuem significativamente para a otimização de estratégias de controle, como o monitoramento, a captura em massa e a interrupção do acasalamento, reduzindo, conseqüentemente, a dependência de inseticidas sintéticos e os impactos ambientais decorrentes de seu uso (VILELA & MAFRA-NETO, 2001; ZARBIN, 2009; DE MORAES, 2024).

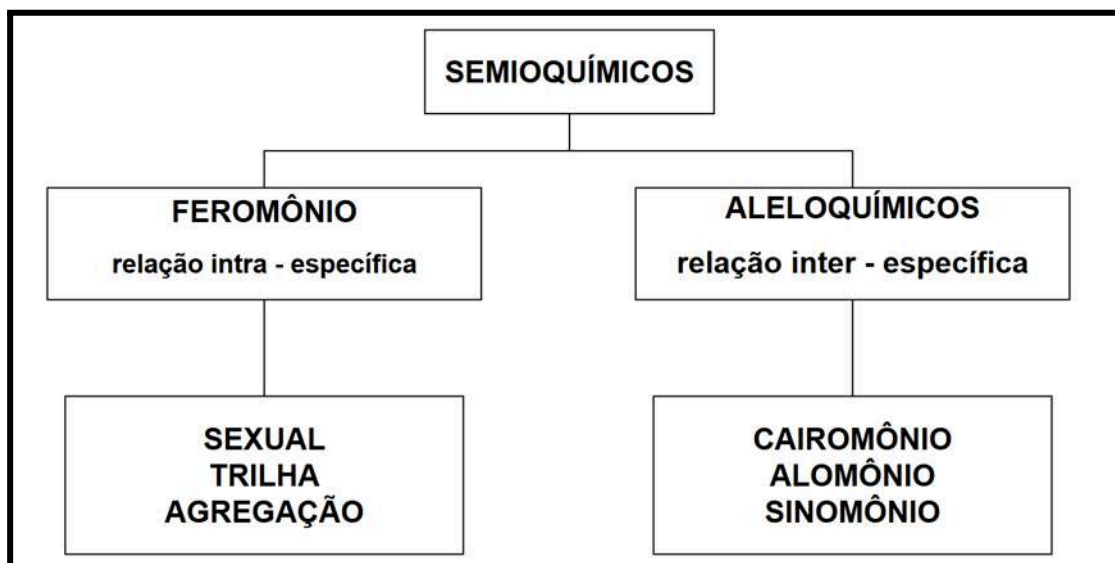
Os semioquímicos compreendem uma ampla gama de substâncias naturais envolvidas na comunicação química entre organismos. Dentre essas, destacam-se os feromônios, responsáveis pela regulação de comportamentos específicos, como defesa, alimentação, reprodução e alerta diante de ameaças. Classificam-se em diferentes categorias, incluindo feromônios sexuais, de agregação, de alarme e de trilha, os quais exercem funções distintas, mas complementares (SANTOS, 2023).

O princípio dessa abordagem baseia-se no uso de substâncias voláteis que imitam o odor dos frutos hospedeiros, atraindo moscas-das-frutas para armadilhas específicas e contribuindo para o controle populacional no Manejo Integrado de Pragas (MIP) (DE AQUINO, 2021). Esses compostos são selecionados a partir da identificação dos voláteis naturalmente emitidos pelos frutos, por meio de técnicas como HS-SPME e GC-MS. Após essa etapa, utiliza-se eletroantenografia (EAG) e GC-EAD para determinar quais moléculas são realmente detectadas pelas antenas dos insetos. Os compostos que ativam o sistema olfativo são então testados em ensaios comportamentais, como olfatômetros e túneis de vento, para confirmar sua

atratividade. Em seguida, são formuladas misturas sintéticas que buscam reproduzir o odor natural com maior estabilidade e sinergia. Por fim, essas formulações são validadas em campo, garantindo eficácia e seletividade no ambiente real de cultivo. (BATEMAN et al., 2014).

Importante destacar que os semioquímicos podem atuar como preparadores ou desencadeadores de comportamentos. (DE MORAES, 2024). Estudos indicam que determinados insetos são capazes de incorporar metabólitos secundários de plantas em seus próprios feromônios sexuais, o que lhes confere maior atratividade e vantagem competitiva durante o processo de acasalamento. Essa interação química complexa entre insetos e plantas reforça a importância dos semioquímicos no equilíbrio ecológico e evidencia seu potencial como base para o desenvolvimento de novas tecnologias sustentáveis no manejo de pragas agrícolas (NISHIDA *et al.*, 1988; SHELLY, 2000a, 2000b; REDDY & GUERRERO, 2004).

Figura 08. Classificação dos semioquímicos.



Fonte: Autor (2025).

Os semioquímicos podem ser classificados em dois grandes grupos: feromônios e aleloquímicos (Figura 08.) Os feromônios atuam na comunicação entre indivíduos da mesma espécie, regulando comportamentos sociais e reprodutivos. Entre suas principais categorias, destacam-se os feromônios sexuais, responsáveis pela atração entre machos e fêmeas; os feromônios de agregação, que promovem a reunião de indivíduos em determinado local; os feromônios de alarme, liberados em situações de perigo; e os feromônios de trilha, empregados para orientação e marcação espacial (DE ARAÚJO, 2021).

Por outro lado, os aleloquímicos atuam na comunicação entre espécies diferentes, englobando compostos como cairomônios, alomônios e sinomônios, os quais exercem influência direta no comportamento e na fisiologia de organismos distintos. Os cairomônios, em particular, são substâncias químicas liberadas por um organismo que beneficiam indivíduos de outra espécie, desempenhando papel fundamental nas interações ecológicas e no controle biológico de pragas (SILVA, 2022). Já os alomônios conferem vantagem ao organismo emissor — geralmente como forma de defesa contra predadores —, enquanto os sinomônios beneficiam simultaneamente o emissor e o receptor, estabelecendo uma relação de cooperação entre espécies.

Tabela 4. Formas de utilização dos semioquímicos

	Objetivo	Espécies estudadas
Monitoramento	Refletir as mudanças na densidade populacional permitindo estimar o local e época em que a atividade dos insetos será máxima	<i>Cydia nigricana</i> (<i>Tortricidae</i>)
Coleta massal	Realizar a captura de insetos através de armadilhas, contendo feromônios	<i>Rhynchophorus palmarum</i> (<i>Curculionidae</i>)
Confusão sexual	Impregnar uma determinada área com feromônios sintéticos, com o intuito do rompimento do sistema normal de comunicação entre os indivíduos	<i>Plodia interpunctella</i> (<i>Pyralidae</i>)
Push-Pull	Utilização de estímulos atrativos e repelentes para manipular a distribuição e o comportamento do inseto	<i>Sitona lineatus</i> (<i>Curculionidae</i>)
Atrai e Mata	Utilizar o feromônio junto com inseticida que atrai e mata o inseto que entra em contato com o inseticida.	<i>Grapholita molesta</i> (<i>Tortricidae</i>)

Fonte: Adaptado de AQUINO (2019).

O uso de cairomônios na Ecologia Química tem se destacado devido à sua capacidade de influenciar o comportamento dos organismos de maneira específica e controlada. No ambiente natural, muitas espécies, incluindo as moscas-das-frutas, utilizam esses compostos para interagir com indivíduos da mesma espécie ou de espécies distintas, contribuindo para a formação de redes naturais de defesa contra predadores e pragas (SANTOS, 2022).

Os cairomônios representam uma ferramenta valiosa no contexto do Manejo Integrado de Pragas (MIP), pois permitem um controle mais direcionado e ambientalmente sustentável. Tradicionalmente, o manejo de pragas baseou-se

principalmente no uso de pesticidas químicos, que, apesar de eficazes, acarretam problemas como resistência das pragas, contaminação ambiental e impactos negativos sobre organismos benéficos (DE ARAÚJO, 2021). Diante dessas limitações, os cairomônios surgem como uma alternativa promissora, capaz de promover intervenções mais precisas e menos agressivas ao ambiente, favorecendo práticas que priorizam o equilíbrio ecológico (REIS, 2017). Assim, sua aplicação contribui para estratégias de manejo mais naturais e eficientes, reduzindo a dependência de produtos químicos e fortalecendo a sustentabilidade agrícola. Além de ampliar as possibilidades de controle, essas substâncias também favorecem a viabilidade econômica e a conservação da biodiversidade, alinhando-se às demandas da agricultura contemporânea (ALVES, 2021; RODRIGUES, 2015).

Os alomônios são semioquímicos constituídos por substâncias químicas produzidas por um organismo e liberadas no ambiente com o objetivo de influenciar o comportamento de indivíduos de espécies distintas. Ao contrário dos feromônios, que mediam a comunicação intraespecífica, os alomônios beneficiam o organismo emissor, geralmente atuando para repelir ou enganar outras espécies. Um exemplo clássico ocorre quando plantas liberam compostos químicos que repelem herbívoros ou atraem predadores desses herbívoros, desempenhando papel crucial na defesa natural e no controle das interações ecológicas, sendo também aplicados em estratégias de manejo de pragas (LIMA, 2023).

Os sinomônios, por sua vez, são semioquímicos que influenciam o comportamento de indivíduos de espécies distintas ou da mesma espécie, beneficiando simultaneamente emissor e receptor. Um exemplo ocorre quando plantas emitem sinais químicos para atrair polinizadores, como abelhas, ou para alertar plantas vizinhas sobre a presença de herbívoros, permitindo que estas se preparem para possíveis ataques. Dessa forma, os sinomônios desempenham papel relevante nas interações naturais e podem ser utilizados em estratégias de controle biológico, promovendo a polinização e contribuindo para o manejo de pragas agrícolas (POMINI, 2006).

Entre os principais tipos de compostos empregados no manejo de pragas destacam-se os feromônios, que alteram o comportamento de insetos e são utilizados em armadilhas; os hormônios inseticidas, que inibem crescimento ou reprodução; os óleos essenciais e extratos vegetais, com propriedades inseticidas e fungicidas; os sabões e detergentes naturais, que promovem desidratação ou sufocamento; e os ácidos orgânicos, como ácido acético e ácido cítrico, com ação

fungicida. Tais biopesticidas apresentam vantagens importantes, incluindo menor toxicidade para seres humanos e o meio ambiente, alta especificidade no controle das pragas e baixo risco de desenvolvimento de resistência, contribuindo significativamente para a agricultura sustentável e a segurança alimentar (PICANÇO, 2010).

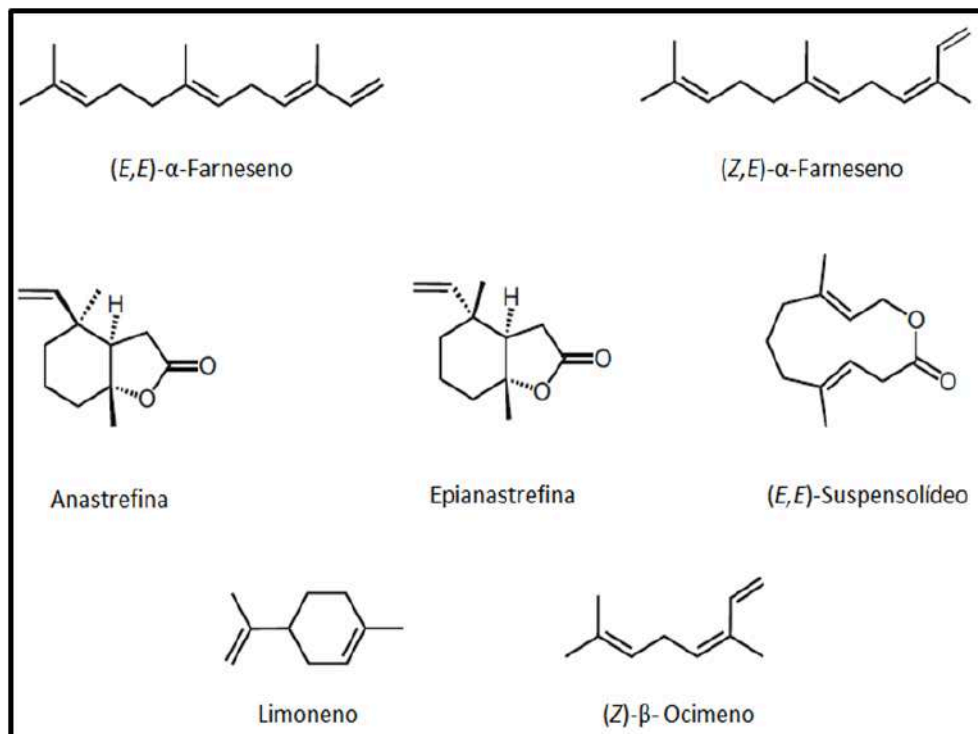
No caso de *Anastrepha obliqua*, os feromônios e outros compostos voláteis desempenham papel central na comunicação química e no comportamento reprodutivo da espécie (SILVA, 2022). Dentre eles, o (*E,E*)- α -farneseno é um atrativo sexual liberado pelos machos para atrair fêmeas, enquanto a anastrephina atua como componente de sinalização durante o cortejo, e o (*E,E*)-suspensolídeo auxilia na comunicação intraespecífica. Outros compostos, como o limoneno, um monoterpeno presente em diversos vegetais, e o (*Z*- β)-ocinemo, influenciam a atração e a dispersão dos indivíduos. Esses voláteis são liberados principalmente em áreas de agregação, conhecidas como leks, onde os machos competem pela atenção das fêmeas. Dessa forma, o comportamento reprodutivo de *A. obliqua* não é resultado da ação isolada de um único composto, mas sim da sinergia da mistura volátil emitida pelos machos. (AQUINO, 2019).

Além disso, compostos como α -pineno, β -mirceno, canfeno e sabineno desempenham funções essenciais na atração de fêmeas para locais de agregação ou oviposição, modulando dispersão e comunicação da espécie (SILVA, 2022; AQUINO, 2019; LIMA-MENDONÇA, 2014). Os cairomônios, que afetam indivíduos de outras espécies, permitem direcionar as pragas a armadilhas ou áreas específicas sem impactar indiscriminadamente organismos não-alvo. Integrados a biopesticidas e compostos bioativos, proporcionam baixa toxicidade, alta especificidade e menor risco de resistência, reforçando sua aplicabilidade no Manejo Integrado de Pragas (MIP) (SANTOS, 2022; REIS, 2007; RODRIGUES, 2015; ALVES, 2021; REIS, 2017).

Estudos clássicos identificaram misturas feromonais complexas em *Anastrepha suspensa* e compostos voláteis de machos de *Anastrepha fraterculus*, evidenciando seu potencial para o desenvolvimento de atrativos sintéticos e técnicas de controle comportamental (TUMLINSON, 1988; LIMA, 1996; SANTOS, 2003). Para *Anastrepha obliqua*, as misturas feromonais emitidas por machos incluem 1-heptanol, (*E,Z*)-3,6-nonadien-1-ol, 2-hexanona, hexanoato de etila, linalol, α -*trans*-bergamoteno, α -*trans*-cariofileno e α -copaeno, além de outros compostos

bioativos avaliados como atrativos em armadilhas (AQUINO, 2019; SILVA, 2020; SANTOS, 2012; GONÇALVES, 2004).

Figura 9. Componentes do feromônio que são encontrados em espécies de *Anastrepha*.



Fonte: Adaptado a partir de Rocca *et al.* 1992.

Os cairomônios desempenham um papel fundamental na interação de *Anastrepha obliqua* com o ambiente, modulando seu comportamento ao direcioná-la para fontes alimentares ou hospedeiros específicos. Entre os principais compostos envolvidos nesse processo, destacam-se os monoterpenos voláteis α-pineno, β-mirceno, canfeno e sabineno, presentes em plantas hospedeiras como a mangueira (*Mangifera indica*). Esses sinais químicos atuam como atrativos olfativos, guiando as moscas na busca por áreas adequadas para alimentação e oviposição (LIMA-MENDONÇA, 2014; AQUINO, 2019).

Figura 10. Compostos encontrados no cairomônio da manga.



Fonte: Autor (2025).

Os semioquímicos, como canfeno, sabineno, β -mirceno e α -pineno, oferecem diversas possibilidades de uso na cultura da manga, desempenhando papéis importantes na atração de polinizadores, no controle de pragas e até na melhoria da qualidade do fruto. Esses compostos não atuam de forma isolada, mas sim como misturas voláteis que, em conjunto, modulam respostas comportamentais nos insetos (SILVA, 2022; AQUINO, 2019).

Dada a importância dos semioquímicos na comunicação química dos insetos, existem registros de produtos comerciais e patentes que utilizam essas substâncias como atrativos alimentares, feromonais ou de marcação de hospedeiros, isolados ou associados a inseticidas, para o manejo de diferentes espécies de moscas-das-frutas, incluindo *Bactrocera dorsalis* (US2011290909), *Ceratitis capitata*, *Anastrepha ludens* (US19874820513, BR8605335, GB2178315, PI 9914748-3 A2) e *Anastrepha fraterculus* (BR1020150164041; BR1020160038219).

Patentes já descrevem o uso de cairomônios e outros compostos voláteis provenientes de frutos de goiaba (*Psidium guajava*), cajá (*Spondias mombin*), carambola (*Averrhoa carambola*) e manga (*Mangifera indica*) na detecção e no manejo de *Anastrepha obliqua*. Esses documentos relatam que misturas voláteis extraídas ou formuladas a partir desses frutos funcionam como atrativos feromonais ou alimentares, auxiliando tanto no monitoramento quanto na captura da espécie. Os

resultados apresentados indicam que tais misturas são eficazes na atração de *A. obliqua*, demonstrando o potencial dos voláteis naturais na criação de estratégias sustentáveis, seletivas e ecologicamente responsáveis para o manejo dessa praga (PI 0610227-1A2; US2008030572; BR 10 2018 000016 0; BR 10 2018 0713205; BR 10 2019 004541 8; BR 10 2018 072563 7; BR 10 2019 004543 4).

Algumas dessas patentes descrevem a utilização de substratos liberadores, como septos de borracha ou biopolímeros, para promover a liberação controlada de compostos voláteis. Esses compostos podem derivar de feromônios de machos coespecíficos ou de constituintes comuns aos frutos hospedeiros, garantindo atração direcionada e comportamento dos insetos semelhante ao observado em seu habitat natural. Até o momento, o uso de biopolímeros como liberadores tem sido restrito a registros patentários, evidenciando inovação na aplicação de atrativos para *Anastrepha obliqua* (PI 0610227-1A2; US2008030572; BR 10 2018 000016 0; BR 10 2018 0713205; BR 10 2019 004541 8; BR 10 2018 072563 7; BR 10 2019 004543 4).

Para otimizar a eficiência desses atrativos, é essencial que o substrato possua características específicas, permitindo a liberação gradual dos compostos voláteis, de modo a induzir nos insetos comportamentos semelhantes aos naturais. Nesse sentido, a produção de substratos biodegradáveis com liberação controlada e eficiente é fundamental, garantindo não apenas eficácia no manejo da praga, mas também sustentabilidade ambiental (TAVARES, 2020).

2.4 - SUBSTRATOS PARA LIBERAÇÃO DE SEMIOQUÍMICOS

Substratos são frequentemente utilizados na produção e aplicação de compostos bioativos, desempenhando papel fundamental na estabilidade e eficácia dos semioquímicos. O papel filtro serve como suporte para a aplicação de compostos voláteis (CORREIA, 2021), enquanto o septo de borracha proporciona vedação hermética, controlando a liberação dos compostos (SANTOS, 2020). Os biopolímeros atuam como encapsulantes, protegendo os semioquímicos da degradação e oferecendo uma matriz estável para a liberação controlada de feromônios e outros sinais de comunicação (CORREIA, 2021).

Esses substratos são essenciais tanto para o controle de pragas agrícolas quanto para a modulação do comportamento animal. Um dos maiores desafios é a volatilidade dos compostos, que pode reduzir sua eficácia no ambiente

(LIMA-MENDONÇA, 2014). Entre os substratos mais utilizados destacam-se bolas de gel, cartuchos de plástico, matrizes de liberação lenta, papel poroso, filtros de polímero, cápsulas de liberação controlada e matrizes alimentares, todos empregados para liberar semioquímicos, como feromônios sexuais, de forma controlada.

A liberação controlada de semioquímicos constitui uma estratégia essencial para o manejo sustentável de insetos-praga na agricultura e no controle ambiental. Diferentes substratos podem ser escolhidos como matrizes de liberação, cada um com propriedades específicas que influenciam a taxa de difusão e a estabilidade dos compostos ativos (GOULART, 2012).

Os polímeros naturais e sintéticos são amplamente utilizados na liberação controlada de semioquímicos devido à sua capacidade de fornecer difusão gradual e estável. Entre os polímeros naturais, destacam-se o amido, a celulose, a quitina e os alginatos, que são biodegradáveis e ambientalmente sustentáveis. Já os polímeros sintéticos, como poliuretanos e polietilenos, são escolhidos por sua resistência e controle preciso da difusão dos compostos. A microencapsulação com polímeros biodegradáveis permite a liberação programada, protegendo os semioquímicos da degradação prematura (MELO, 2019; MOREIRA, 2014).

Técnicas de encapsulamento avançadas, como microcápsulas e nanopartículas, garantem maior estabilidade e liberação prolongada dos compostos. Processos como coacervação ou spray-drying reduzem perdas por volatilização, enquanto nanopartículas de sílica ou lipídicas promovem liberação mais precisa e controlada (SUAVE, 2006). Géis e hidrogéis formulados com alginato e quitosana também se destacam, pois podem regular a taxa de difusão de acordo com a umidade e temperatura do ambiente, oferecendo controle adaptável e sustentado (NASCIMENTO, 2016).

Outros substratos, como argilas e zeólitas, apresentam estruturas porosas que adsorvem e liberam semioquímicos de forma gradual. As zeólitas são valorizadas por sua estabilidade e precisão na liberação, enquanto argilas modificadas ajustam a taxa de difusão conforme condições ambientais, como temperatura e umidade (SILVA, 2010). Fibras naturais e sintéticas, incluindo celulose e tecidos poliméricos funcionais, também podem servir como suporte para aplicação direta ou em armadilhas (SANTOS JÚNIOR, 2023).

A escolha do substrato ideal depende do tipo de semioquímico, das condições ambientais e da duração desejada do efeito. O avanço das pesquisas

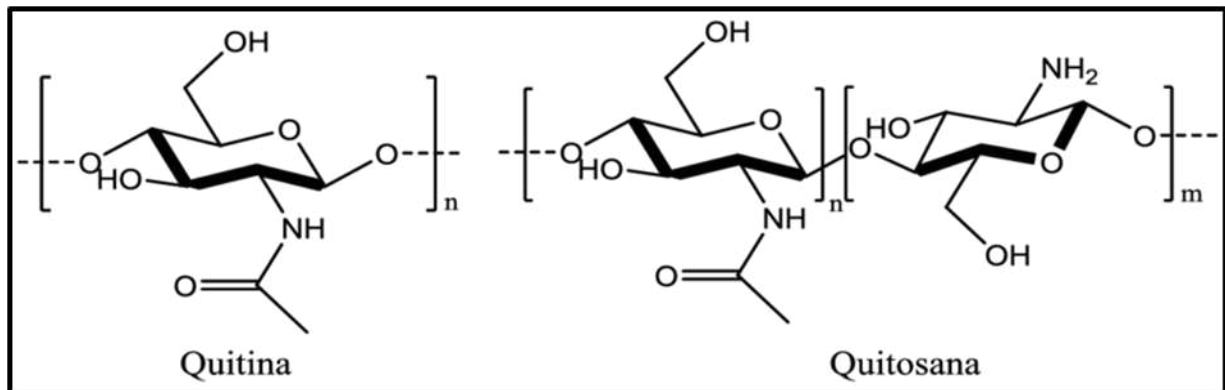
nessa área tem permitido o desenvolvimento de sistemas mais eficientes e sustentáveis, reduzindo o impacto ambiental do uso excessivo de inseticidas químicos (SANTOS, 2022).

A liberação controlada de substâncias ativas envolve sua incorporação em matrizes ou dispensers, permitindo liberação gradual por permeação até atingir o alvo, mantendo concentrações ideais e evitando desperdícios. Sistemas de liberação controlada (CRS, “controlled release system”) contribuem para reduzir lixiviação, volatilização e degradação dos ativos, diminuindo a quantidade necessária por unidade de área, minimizando custos e riscos ocupacionais, e preservando organismos não alvo (HU, 1998; SINGH, 2019).

O processo de incorporação pode ocorrer por adsorção, dispersão na matriz ou encapsulamento. A dessorção inicial intensa de micro e nanopartículas pode ser controlada ajustando a densidade de reticulação ou utilizando polímeros de alto peso molecular (VILLANOVA, 2010). A liberação do composto ativo pode depender de difusão, relaxamento das cadeias do polímero ou erosão da matriz, sendo influenciada por pH, temperatura, pressão, enzimas ou agitação mecânica (NERI-BADANG & CHAKRABORTY, 2019).

Entre essas matrizes, a quitosana se destaca, por ser um polímero bastante utilizado, natural, biodegradável, atóxico e derivado da quitina, obtido por desacetilação química. A quitina, um dos compostos orgânicos mais abundantes na natureza, compõe a estrutura dos exoesqueletos de insetos e crustáceos, além de estar presente na parede celular de fungos. Quando submetida à desacetilação química (Figura 11) — reação que consiste na remoção de grupos acetil ($-\text{COCH}_3$) das unidades de N-acetil-D-glucosamina — a quitina se transforma em quitosana, resultando em um polissacarídeo amino formado por unidades de D-glucosamina e N-acetil-D-glucosamina. Esse processo altera a proporção de grupos funcionais livres $-\text{NH}_2$, conferindo à quitosana propriedades singulares, como biocompatibilidade, capacidade de formar filmes, adsorção de íons e toxinas, liberação controlada de compostos e atividade antioxidante (GUIBAL, 2005; AZEVEDO, 2007; KUMAR, 2000; RINAUDO, 2006).

Figura 11. Representação da fórmula estrutural da quitosana.



Fonte: Adaptado de ASSIS (2003).

Estudos recentes demonstram o potencial da quitosana na formulação de sistemas de liberação controlada de pesticidas. Xie *et al.*, (2020) desenvolveram composições à base de alginato, amido e quitosana para o inseticida espirotetramato, visando reduzir a contaminação ambiental, minimizar a toxicidade para humanos e prolongar a permanência do produto no solo. Nessa formulação, os hidrogéis de alginato e amido atuaram como matriz biocompatível e biodegradável, enquanto a quitosana melhorou a estabilidade e a permeabilidade, retardando a degradação do inseticida e promovendo efeito residual prolongado.

Apesar desses avanços, ainda não há estudos que combinem a quitosana com o pó da casca da manga como substrato para a adsorção de semioquímicos atrativos para moscas-das-frutas. A formulação prevista visa explorar a sinergia entre feromônios e cairomônios, desenvolvendo uma solução atrativa com liberação gradual de compostos EAD aditivos, voltada especificamente para *Anastrepha obliqua*. A combinação estratégica desses compostos com um substrato biodegradável derivado de resíduos de cascas de manga tem potencial para otimizar a captura e o manejo da praga, representando uma abordagem inovadora e ambientalmente sustentável no manejo integrado de moscas-das-frutas.

3. OBJETIVOS

3.1 - OBJETIVO GERAL

Desenvolver um substrato adsorvente baseado na casca de manga rosa e quitosana, capaz de incorporar e liberar de forma controlada caimônios oriundos da manga rosa e feromônios de machos de *Anastrepha obliqua*, visando otimizar a atração, o monitoramento e o manejo sustentável da praga.

3.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

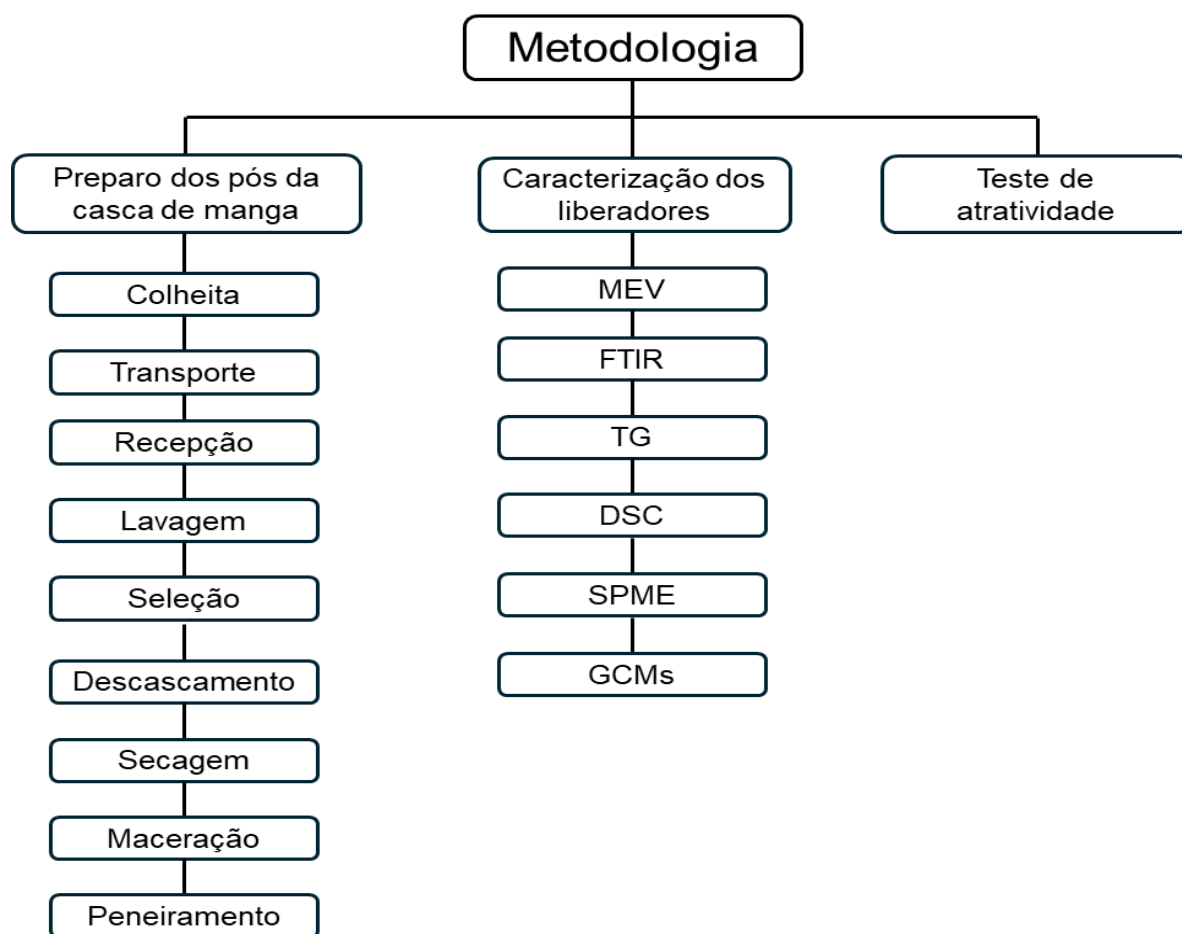
- Produzir pós obtidos da casca de manga da variedade rosa nos estágios de maturação verde e maduro.
- Estabelecer a proporção ideal entre o pó das cascas de manga rosa e o biopolímero comercial, identificando a combinação mais eficiente para a adsorção dos semioquímicos de interesse.
- Caracterizar os pós obtidos por análises termogravimétricas, espectroscópicas e de microscopia.
- Investigar o perfil de liberação dos compostos voláteis adsorvidos.
- Avaliar a atratividade de fêmeas de *Anastrepha obliqua* às formulações desenvolvidas, por meio de bioensaios comportamentais em laboratório.

4. MATERIAL E MÉTODOS

No presente estudo, a quitosana, juntamente com o pó da casca da manga, será utilizada como matriz encapsulante, promovendo a liberação controlada dos compostos bioativos presentes na casca de manga. Espera-se formar uma estrutura em camadas, na qual a casca de manga funcione como principal fonte de fibras e compostos bioativos, enquanto a quitosana controlará a liberação gradual desses componentes. Essa abordagem otimiza o aproveitamento de resíduos de casca de manga e contribui para soluções sustentáveis e inovadoras no desenvolvimento de nanocompósitos para aplicações agrícolas.

A metodologia foi desenvolvida no período de 2023 a 2025. Os procedimentos experimentais compreenderam: (I) a coleta de frutos de manga (*Mangifera indica* L.) e carambola (*Averrhoa carambola*) infestados por tefritídeos; (II) a manutenção de populações de *Anastrepha obliqua*, obtidas a partir desses frutos, em condições seminaturais; (III) a aquisição de mangas da variedade Rosa, Palmer e Tommy Atkins (sadias) para a extração de compostos bioativos do fruto; (IV) a extração do feromônio sexual emitido por machos de *A. obliqua*; (V) a aquisição de quitosana de grau comercial; (VI) a obtenção do pó da casca de manga e a subsequente produção de substratos compostos por casca de manga e quitosana, empregados como matrizes adsorventes de misturas de semioquímicos; (VII) a caracterização físico-química dos substratos produzidos; e (VIII) a realização de bioensaios comportamentais com os insetos (Figura 12).

Figura 12. Organograma metodológico do trabalho.



Fonte: Autor (2024).

4.1 - COLETAS E MANUTENÇÃO DE INSETOS

4.1.1 - Coleta em campo

Para a realização deste presente trabalho, utilizou-se frutos da espécie *Mangífera indica L.* em três espécies diferentes: Rosa, Palmer e Tommy Atkins em dois estágios respectivos: maduro e verde. Coletou-se os frutos com aspectos visíveis de infestações, perfurações pelas moscas-das-frutas, *A. oblíqua*, pertencentes à família tephritidae. A coleta dos frutos foi exercida de modo manual seguindo o método descrito por AQUINO (2019), diretamente das árvores e do solo, o local da amostragem da colheita dos frutos foi realizado no Bairro da Santa Amélia no estado de Alagoas. A área de coleta encontra-se posicionada nas coordenadas geográficas aproximadas de 9°36'02.9"S, 35°46'13.2"W (Figura 13).

Figura 13. Mangueira da coleta de frutos

Fonte: Autor (2024).

Posteriormente, esses frutos foram levados para o laboratório de Ecologia Química - LEQ da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, onde foram acondicionados em gaiolas de isopor com capacidade de 45 L, cuja parte superior foi coberta com tecido tipo voil para permitir a ventilação e aeração dos frutos. Na parte inferior das gaiolas, foi depositada uma camada de 3 cm de vermiculita de granulometria média, utilizada como substrato para a pupação das larvas (Figura 14).

As gaiolas contendo os frutos infestados foram mantidas em condições seminaturais com temperatura de 25 °C e uma umidade relativa de 55 %. A identificação da espécie *Anastrepha obliqua* foi realizada com base na morfologia do acúleo da fêmea, conforme descrito por ZUCCHI (2000).

Figura 14. Frutos infestados com tefritídeos acondicionados em uma gaiola de isopor.



Fonte: Autor (2024).

4.1.2 - Manutenção de populações de *Anastrepha obliqua*

A manutenção das gaiolas contendo os frutos sadios e infestados foi realizada duas vezes por semana, garantindo as condições ideais para o ciclo biológico da *A. obliqua*. Os frutos sadios que são os frutos verdes, neste caso, utilizando o fruto da goiaba, foram inseridos nas gaiolas com fêmeas adultas para estimular a oviposição, permitindo que estas realizassem a perfuração e deposição de ovos.

Posteriormente, no ciclo de manutenção que foi realizado entre o intervalo de dois a três dias, os frutos que apresentavam sinais de perfuração foram removidos e transferidos para as gaiolas de isopor, contendo vermiculita e água mineral, para que ocorresse a continuidade do desenvolvimento das larvas até a fase adulta havendo um processo cíclico, mantido de forma contínua, na manutenção da população dos insetos domesticados a partir de frutos continuamente infestados em ambiente controlado.

A cada 15 dias, foi efetuada a higienização completa, como a troca dos aquários de criação e de todos os materiais utilizados, os tecidos de aeração e recipientes internos, assegurando a sanidade do ambiente experimental. Os insetos adultos são oriundos dos frutos infestados, foram sexados e preservados em gaiolas com a dimensão de 20 cm x 30 cm x 15 cm, contendo dieta artificial rica em

carboidratos e proteínas, preparada com os respectivos materiais: açúcar cristal, extrato de soja, açúcar mascavo, levedo de cerveja e gérmen de trigo na proporção 3:3:1:1:1, a água fornecida para a hidratação das moscas-das-frutas, foram inseridas em recipientes descartáveis contendo uma esponja levemente umedecida para o auxílio da ingestão da água (Figura 15).

Figura 15. Arenas de vidro com *Anastrepha obliqua*.



Fonte: Autor (2024).

Foram adicionados à gaiola alguns frutos de goiaba, variando de 2 a 6 unidades conforme a quantidade de insetos presentes, todos em estágio verde e utilizados como substrato para a oviposição das fêmeas. Esses frutos foram submetidos a um tratamento térmico a 60 °C por 10 minutos. A população domesticada foi mantida no laboratório com manejo duas vezes por semana, incluindo a troca da dieta artificial, reposição de água e fornecimento de frutos frescos para oviposição. Os frutos retirados das gaiolas eram armazenados nas caixas de coleta, e novas moscas coletadas no campo eram introduzidas para aumentar a população, preservando características selvagens. O insetário foi mantido a 25 °C, com umidade relativa de 60 % e fotoperíodo de 14 horas.

4.1.3 - Coleta de frutos para obtenção dos insetos

As coletas foram realizadas durante o período de frutificação da mangueira, entre dezembro e março, de 2023 a 2025. Por se tratar de um intervalo de maior

incidência de *Anastrepha obliqua*, avaliou-se a sazonalidade dos frutos, selecionando-se aqueles com sinais de perfuração e características compatíveis com a oviposição das moscas-das-frutas, garantindo maior quantidade de frutos infestados.

Para as análises laboratoriais, os frutos coletados, provenientes tanto do plantio de mangueira (*Mangifera indica* L.) quanto de carambola (*Averrhoa carambola*), foram utilizados para o desenvolvimento completo das larvas até a fase adulta. Frutos de diferentes hospedeiros foram empregados, desde que apresentassem sinais compatíveis com a infestação da espécie estudada. Embora as coletas tenham ocorrido prioritariamente no período de maior sazonalidade, frutos infestados também foram obtidos em outras épocas do ano, no mesmo local, respeitando o ciclo biológico de *A. obliqua*.

Após o período de incubação, os insetos emergidos foram cuidadosamente coletados com pinças e transferidos para gaiolas de criação. Os indivíduos obtidos foram posteriormente utilizados em testes comportamentais e na avaliação da eficácia de extratos provenientes de frutos sadios, permitindo a análise da interação entre os compostos naturais da manga e o comportamento das moscas-das-frutas.

4.1.4 - Coleta de frutos para obtenção do extrato de manga (*Mangifera indica* L.)

Para o preparo dos extratos destinados aos ensaios comportamentais, foram selecionados frutos sadios e íntegros de *Mangifera indica* L., das variedades manga-rosa, Palmer e Tommy Atkins, livres de lesões, perfurações, sinais de fermentação ou qualquer indício de infestação por insetos. A colheita foi realizada manualmente, diretamente do plantio, durante o período de frutificação, nas mesmas localidades utilizadas para a coleta de frutos infestados.

Após a coleta, os frutos foram transportados para o Laboratório do Grupo de Pesquisa em Síntese, Análises Químicas e Caracterização de Materiais (GSAQCM), no IFAL – Campus Maceió, onde passaram por um criterioso processo de higienização. Este procedimento consistiu em uma lavagem inicial em água corrente, seguida de lavagem com água destilada, garantindo a remoção completa de sujidades e contaminantes superficiais. Não foram utilizados detergentes ou sabões neutros, preservando, assim, a composição química natural da epiderme do fruto.

Figura 16. Frutos de *Mangifera indica* L., variedade manga-rosa.



Fonte: Autor (2024).

Em seguida, os frutos foram secos à temperatura ambiente controlada (± 25 °C) até a completa remoção da umidade superficial. Após essa etapa, procedeu-se à separação manual das partes constituintes, polpa, casca e caroço. As cascas foram então cortadas em tiras finas utilizando um descascador de lâmina de aço inoxidável (marca Tupperware) e armazenadas sob refrigeração (± 4 °C), envoltas em folhas de alumínio, até o momento da desidratação.

4.2 - PRODUÇÃO DO SUBSTRATO

4.2.1 - Secagem

As amostras das três variedades de *Mangifera indica* L., manga-rosa, Palmer e Tommy Atkins, foram submetidas à secagem em estufa. Após 72 horas de armazenamento, deu-se início ao processo de análise da cinética de secagem das cascas. Para garantir a adequação metodológica, foi avaliada a quantidade disponível de cada variedade, de modo a não comprometer futuras análises. Determinou-se a utilização de 2 g de casca de cada variedade (Tabela 05). Esse procedimento permitiu a obtenção de triplicatas para cada variedade, assegurando a robustez dos resultados.

Tabela 05. Quantidade de amostras de cada variedade de manga levadas a estufa.

VARIEDADES DE MANGA	QUANTIDADE (g)
---------------------	----------------

Manga Rosa Verde (MRV)	2
Manga Rosa Madura (MRM)	2
Manga Tommy Verde (MTV)	2
Manga Tommy Madura (MTM)	2
Manga Palmer Verde (MPV)	2
Manga Palmer Madura (MPM)	2

Fonte: Autor (2024).

Para garantir a precisão das medidas, foram utilizadas 17 cápsulas de porcelanas (Figura 17), cuidadosamente preparadas segundo rigorosos critérios de limpeza e padronização. O preparo assegurou a uniformidade das amostras durante o processo de secagem, permitindo a obtenção de resultados confiáveis e reproduzíveis na análise da cinética de secagem.

Figura 17. Cápsulas de porcelanas contendo 2g de casca de manga das variedades Tommy Atkins, Palmer e rosa, nos estágios de maturação da fruta.

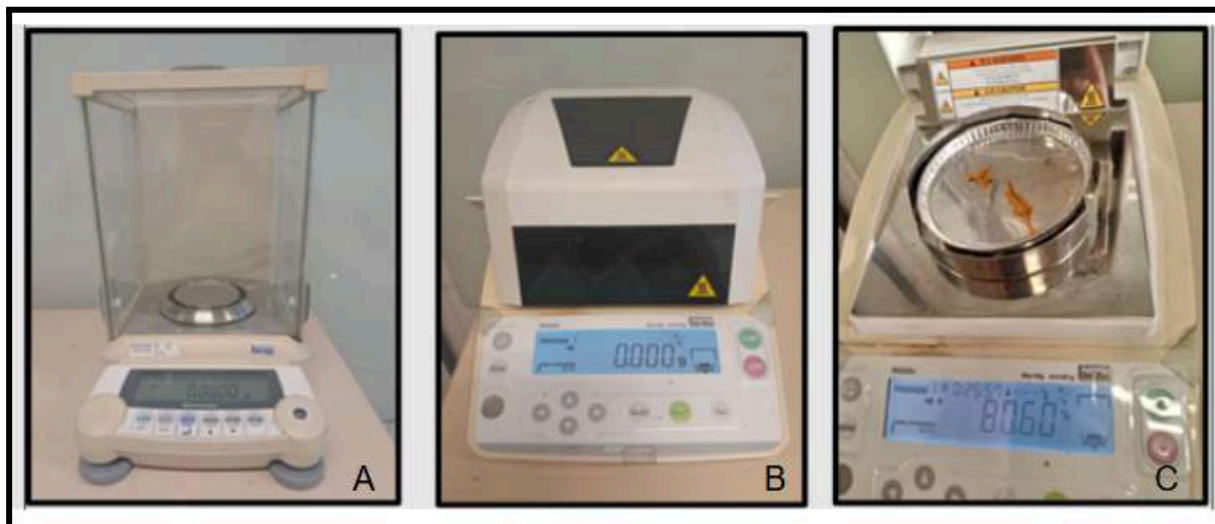


Fonte: Autor (2024).

A pesagem das amostras foi realizada em uma balança analítica Shimadzu ATX/ATY (Figura 18.a), assegurando exatidão e consistência nos resultados. Para

determinação do teor de umidade, utilizou-se uma balança térmica Shimadzu MOC63u (Figuras 18.b, parte externa, e 18.c, parte interna), empregando 0,5 g de cascas de manga por medição.

Figura 18. *A. Balança analítica Shimadzu ATX/ATY; B. Balança térmica Shimadzu MOC63u e C. Balança térmica na parte interna contendo 0,5g de casca de manga.*



Fonte: Autor (2024).

A terceira etapa da análise consistiu na secagem das cascas de manga em estufa (Figura 19), realizada em quatro experimentos distintos, seguindo uma ordem predefinida. As amostras foram submetidas às seguintes condições: Experimento I – 24 horas a 40 °C; Experimento II – 48 horas a 40 °C; Experimento III – 24 horas a 60 °C; e Experimento IV – 48 horas a 60 °C.

Figura 19. Processo de secagem das amostras das três amostras de manga.



Fonte: Autor (2024).

Para cada conjunto de amostras, calcularam-se medidas de tendência central e dispersão, como média, mediana e desvio padrão, visando identificar a combinação ideal de tempo e temperatura para a secagem das cascas de *Mangifera indica* L. A partir desses parâmetros, padronizou-se o processo de secagem em estufa por 24 horas, a 40 °C.

4.2.2 - Processamento físico dos pós

Após a conclusão da secagem, o material seco foi imediatamente direcionado ao processamento físico. Com base na análise do desvio padrão obtido nos quatro experimentos, definiu-se a utilização de 1 g de casca de cada uma das três variedades de *Mangifera indica* L. Em seguida, realizou-se a maceração das amostras em cadinhos de forma manual, seguida da moagem até a obtenção de um pó homogêneo com diferentes granulometrias. O material resultante foi peneirado em um tamisador, utilizando peneiras de 16, 35, 60 e 100 MESH, faixa de granulometria adotada por apresentar uniformidade em todas as amostras, permitindo a padronização do tamanho das partículas e assegurando a comparabilidade entre os pós obtidos (Figura 20).

Figura 20. Processo de separação granulométrica no tamisador com peneiras de 16 a 100 mesh (A); processo contínuo de maceração (B); e pó das três variedades de manga acondicionado em frascos de conservação (C).



Fonte: Autor (2024).

4.2.3 - Obtenção do nanocompósito quitosana/pó de manga

A quitosana utilizada neste trabalho foi obtida como produto comercial da empresa Êxodo Científica (São Paulo, Brasil), sob o código Q06289RA. Para a preparação dos nanocompósitos, realizou-se a combinação do pó de casca de manga rosa com quitosana desacetilada, empregando diferentes proporções entre os materiais. As formulações foram preparadas com 25% de pó de manga e 75% de quitosana; 50% de pó de manga e 50% de quitosana; 75% de pó de manga e 25% de quitosana; e 100% de pó de manga, sem adição de quitosana. Essas proporções foram escolhidas com o objetivo de avaliar a influência relativa dos componentes na formação, estabilidade e funcionalidade dos nanocompósitos, permitindo identificar a composição mais adequada para a adsorção e liberação controlada dos semioquímicos.

4.3 - CARACTERIZAÇÕES FÍSICAS

As análises das caracterizações físicas dos substratos dos pós das cascas das mangas, foram realizadas no laboratório do Grupo de Sínteses, Análises

Químicas, e Caracterizações de Materiais no Instituto Federal de Alagoas (IFAL), Campus - Maceió.

4.3.1 - Análises Termogravimétrica - TGA

As análises foram realizadas no equipamento TGA-51 (Shimadzu). As amostras do substrato de biopolímero e à base de quitosana, com massas entre 5 e 10 mg, foram misturadas na proporção de 1:1 e depositadas em cadinhos de platina. A rampa de aquecimento do experimento foi programada partindo da temperatura ambiente (25 °C) até 900 °C, com taxa de aquecimento constante de 10 °C/min, sob fluxo contínuo de gás nitrogênio a 50 mL/min.

4.3.2 - Análise de Calorimetria Exploratória Diferencial - DSC

As análises foram realizadas no equipamento DSC-60 (Shimadzu), utilizando cadinhos de alumínio. Amostras com massa entre 1 e 5 mg foram submetidas à rampa de aquecimento do experimento, iniciando a 25 °C e atingindo 400 °C, com taxa constante de 10 °C/min, sob fluxo de nitrogênio de 50 mL/min. Cada análise teve duração aproximada de 40 minutos.

4.3.3 - Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier - FTIR

As análises foram realizadas no espectrofotômetro de infravermelho IRAffinity-1 (Shimadzu), utilizando comprimento de onda entre 4000 e 650 cm^{-1} , 128 scans e espectro de transmitância. Foram analisadas amostras de casca de manga, quitosana e da mistura das duas na proporção 1:1, com aproximadamente 5 mg de cada amostra. O tratamento dos dados foi realizado utilizando o software LabSolution IR (Shimadzu).

4.3.4 - Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV

As análises morfológicas das amostras foram realizadas por meio da técnica e do uso de um microscópio eletrônico de varredura (MEV), modelo Vega3 da marca Tescan. Inicialmente, as amostras secas foram fixadas em stubs metálicos circulares por meio de tiras de carbono dupla face. Em seguida, foi realizada a metalização das superfícies por deposição de ouro, utilizando o equipamento Sputter Coater (modelo Quorum Q150R ES), com corrente de 10 mA durante 2 minutos. A aquisição das imagens foi conduzida com tensão de aceleração de 10 keV, com ampliações variando entre a faixa de 100 à 5.000 vezes. O campo de visão foi ajustado entre 10

µm e 500 µm, com distância de trabalho fixada em 10 mm. As imagens foram processadas e analisadas por meio do software Essence Tescan para os tratamentos dos dados obtidos.

4.4 - PREPARO DAS SOLUÇÕES DOS SEMIOQUÍMICOS

4.4.1 - Coleta dos compostos voláteis emitidos por frutos de manga (*Mangifera indica*)

A coleta dos compostos voláteis foi realizada no Laboratório de Ecologia Química (LEQ) da Universidade Federal de Alagoas, utilizando a técnica de aeração em circuito fechado com purga contínua de ar. Dois a três frutos sadios, no estágio de maturação verde, foram acondicionados em uma câmara hermética de vidro (dessecador), conectada a um sistema de adsorção de voláteis, no qual o ar que sai da câmara passa por um adsorvente Tenax, um material poroso que retém compostos orgânicos voláteis, permitindo sua posterior extração e análise.

Um fluxo constante de ar, gerado por uma bomba modelo Resun® AC 2600, foi regulado por um fluxômetro Supelco® a 0,5 L/min e foi direcionado através de um filtro de carvão ativado para remover impurezas e assegurar a pureza do ar de entrada. O ar purificado circulou no interior da câmara de coleta, promovendo a purga dos compostos orgânicos voláteis emitidos pelos frutos. Esses compostos foram retidos em um cartucho contendo polímero adsorvente Tenax® (150,0 mg, 60–80 mesh), acoplado à saída da câmara.

A cada 24 horas, o trap contendo o adsorvente foi substituído por um novo, garantindo a continuidade da coleta. Esse procedimento foi repetido diariamente por quatro dias consecutivos. Ao final de cada período de exposição, os traps contendo os voláteis foram submetidos ao processo de dessorção, realizado por eluição com hexano bidestilado de grau HPLC (2,0 mL). As amostras obtidas foram armazenadas em ampolas de vidro seladas e foram mantidas sob resfriamento (± 8 °C) para posterior utilização em análises laboratoriais e ensaios comportamentais.

4.4.2 - Coleta do feromônio sexual de machos de *A. obliqua*

A extração dos compostos orgânicos voláteis dos machos de *Anastrepha obliqua*, provenientes de uma colônia laboratorial previamente estabelecida (3ª

geração), foi realizada por meio da técnica de headspace dinâmico. Essa técnica consiste na purga contínua do ar no ambiente contendo os insetos, conduzindo os voláteis emitidos até um meio adsorvente sólido, onde são retidos para posterior extração e análise.

Para a adsorção dos compostos, utilizou-se um trap de 150 mg de Tenax® TA (60–80 mesh), acondicionado em tubos de vidro conectados a um sistema de bombeamento de ar, onde o fluxo de ar de 0,5 L/min foi produzido por bomba de vácuo calibrada e regulado por fluxômetro. O ar de entrada foi previamente purificado por uma passagem através de tubo contendo carvão ativado, sendo direcionado para um dessecador de vidro modificado com a dimensão de 20 cm de diâmetro × 18 cm de altura, o qual continha 50 machos sexualmente maduros (idade entre 10 e 20 dias).

O material volátil adsorvido nos traps contendo Tenax® foi coletado a cada 24 horas e substituído por um novo tubo com polímero fresco, durante um período contínuo de sete dias, gerando sete amostras individuais. A extração dos compostos orgânicos retidos foi realizada por eluição com 2,0 mL de hexano HPLC. De cada extrato obtido, uma alíquota de 1,0 mL foi transferida para ampolas de vidro hermeticamente seladas e armazenada sob refrigeração a aproximadamente 5 °C.

4.4.3 - Preparo de formulações atrativas para os bioensaio comportamentais

Os compostos voláteis EAD-ativos presentes no extrato de machos de *Anastrepha obliqua* e nas cascas de *Mangifera indica* L. foram identificados e descritos nas patentes BR 10 2018 000016 0 e BR 10 2018 072563 7, respectivamente. Os compostos sintéticos correspondentes aos extratos de feromônio e de manga foram adquiridos comercialmente (Sigma-Aldrich®, Brasil), com grau de pureza $\geq 98,5\%$. As soluções individuais foram preparadas por diluição em hexano (grau HPLC), obtendo-se uma concentração final de 1,0 $\mu\text{L/mL}$. Para tanto, 10 μL do composto puro foram transferidos para um balão volumétrico de 10 mL, completando-se o volume com hexano e promovendo-se a homogeneização da solução. As misturas sintéticas foram elaboradas respeitando as proporções originais dos extratos naturais e armazenadas em freezer até o momento do microencapsulamento. As proporções utilizadas nas formulações derivadas do extrato de manga foram α -pineno, canfeno, sabineno e β -mirceno, nas proporções 11,5:1:1:66,6, respectivamente.

Com base nos compostos voláteis compartilhados entre os extratos naturais, foram elaboradas formulações sintéticas para avaliação do comportamento atrativo

de fêmeas de *A. obliqua*. As quatro formulações experimentais, denominadas M1, M2, M3 e M4 integraram diferentes combinações dos compostos EAD-ativos de *M. indica* e de *A. obliqua*, sendo a formulação M1 composta por α -pineno, β -mirceno, canfeno, sabineno e 1-heptanol; a M2 por α -pineno, β -mirceno, canfeno, sabineno e linalol; a M3 por α -pineno, β -mirceno, canfeno, sabineno e (Z)-3-nonen-1-ol; e a M4 por α -pineno, β -mirceno, canfeno, sabineno e α -farneseno. Essas misturas foram utilizadas como estímulos odoríferos para os ensaios comportamentais.

Devido à alta volatilidade dos compostos, a mistura foi impregnada em microesferas compostas por quitosana e pó da casca de manga em seus respectivos estágios (verde e maduro), que atuaram como matriz biopolimérica adsorvente. Para o processo, 0,01 g da matriz (proporção 1:1) foi depositada em microtubos tipo Eppendorf®, aos quais foram adicionados 10 μ L da solução contendo os compostos voláteis, correspondendo a uma dose de 10 ng por aplicação. A adsorção foi realizada por contato durante 24 horas a 25 °C.

Tabela 6. Formulações de compostos utilizados nos ensaios comportamentais.

SIGLA	Formulação
M1	α -pineno, β -mirceno, canfeno, sabineno e 1-heptanol
M2	α -pineno, β -mirceno, canfeno, sabineno e linalol
M3	α -pineno, β -mirceno, canfeno, sabineno e (Z)-3-nonen-1-ol
M4	α -pineno, β -mirceno, canfeno, sabineno e α -farneseno

Fonte: Autor (2024).

4.4.4 - Microextração em Fase Sólida - SPME

A coleta dos voláteis de feromônios de *Anastrepha obliqua* e de cairomônios provenientes da manga (variedade “manga rosa” em estágio intermediário de maturação) nas misturas M1, M2, M3 e M4 foi realizada por microextração em fase sólida (SPME) utilizando headspace estático. As soluções contendo as misturas sinérgicas dos compostos foram transferidas para balões de 50 mL, devidamente separados e vedados com septos de borracha. Cada balão foi acoplado ao holder de uma fibra SPME revestida com carboxeno–polidimetilsiloxano (CAR/PDMS, 75 μ m) e mantida exposta por 1 hora para adsorção dos voláteis. Em seguida, a fibra foi imediatamente inserida no injetor do cromatógrafo gasoso para análise química.

4.5 - BIOENSAIOS COMPORTAMENTAIS

Os bioensaios laboratoriais foram conduzidos no Laboratório de Ecologia Química (LEQ) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) com o objetivo de avaliar a atratividade das formulações frente a fêmeas de *Anastrepha obliqua* (Diptera: Tephritidae). As avaliações foram realizadas em uma arena de vidro com dimensões de 45 cm × 30 cm × 30 cm, recoberta com tecido *voil*, que permitiu a contenção dos insetos, mantendo ventilação natural e livre circulação dos compostos voláteis. As formulações foram posicionadas em suportes suspensos, dispostas de forma equidistante (30 cm entre os pontos de estímulo) nas extremidades opostas da arena, permitindo às fêmeas escolha livre entre os diferentes estímulos apresentados.

Os experimentos foram conduzidos entre 14h00 e 17h00, período correspondente ao pico de atividade de voo da espécie. Para cada ensaio, foram previamente definidos os parâmetros experimentais, incluindo tempo de observação (20 minutos), concentração e volume das soluções (10 µL) contendo os compostos em teste, e o tipo de substrato utilizado para a liberação dos voláteis. Cada tratamento foi avaliado em três repetições, com seis fêmeas adultas virgens por repetição, previamente sexadas e identificadas por marcação dorsal com tinta atóxica de diferentes cores. As fêmeas apresentavam idades entre 7 e 20 dias, correspondentes à maturidade sexual e à maior responsividade aos estímulos semioquímicos, permitindo a avaliação individual e simultânea da resposta comportamental frente a dois estímulos distintos na mesma arena.

Após o microencapsulamento, os bioensaios foram conduzidos considerando três tratamentos experimentais: (I) tratamento testemunha, composto pelo extrato natural (fruto e feromônio); (II) tratamento-controle, contendo apenas hexano; e (III) tratamento experimental, composto pela formulação das misturas sintéticas microencapsuladas em matriz polimérica de quitosana e pó da casca de manga (*Mangifera indica* L.) na proporção de 50% para cada pó. Cada tratamento foi avaliado em seis repetições independentes, permitindo análise comparativa entre os estímulos voláteis.

As variáveis comportamentais analisadas incluíram voo direcionado, pouso e permanência das fêmeas na fonte odorífera, parâmetros amplamente reconhecidos como indicativos da atratividade química em tefritídeos. Os dados obtidos foram tabulados e submetidos à análise estatística, visando identificar diferenças

significativas entre os tratamentos e determinar a eficiência relativa de cada formulação testada.

4.6 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas foram conduzidas utilizando o software Assistat na versão 7.7. Para verificar a adequação dos dados aos pressupostos de normalidade e homogeneidade das variâncias, foram aplicados os testes de Lilliefors e Kolmogorov-Smirnov com um nível de significância de $p < 0,05$. Os resultados indicaram conformidade com os parâmetros pressupostos permitindo, assim, o uso do teste não paramétrico de Wilcoxon ($p < 0,05$) para identificar diferenças significativas entre os tratamentos avaliados dentro de uma mesma repetição experimental.

5. RESULTADOS

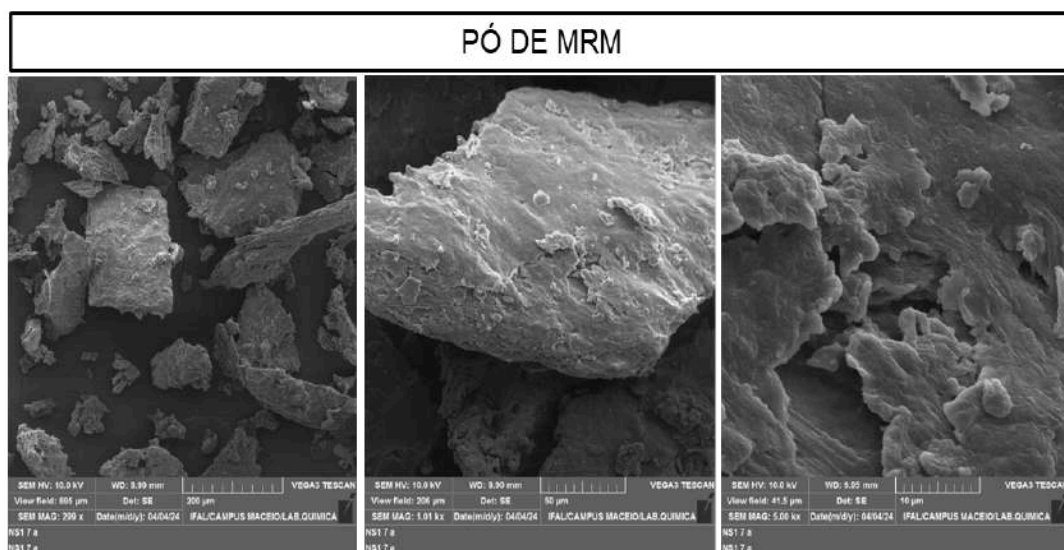
A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) possibilita observar a morfologia e porosidade do material, parâmetros importantes para a retenção e liberação controlada dos compostos voláteis (DELFINO, 2018). A análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), em diferentes resoluções (200 μm , 50 μm e 10 μm), foi realizada com a finalidade de caracterizar a morfologia superficial e a organização estrutural do pó da casca da manga Rosa nos estágios de maturação verde e maduro, considerando que as mudanças fisiológicas associadas ao amadurecimento do fruto podem alterar a composição e a estrutura da parede celular, influenciando diretamente parâmetros como rugosidade, porosidade e área superficial, os quais são determinantes para a eficiência do material como adsorvente de semioquímicos.

A avaliação do pó da casca da Manga Rosa não formulada (Figura 21) permitiu estabelecer um padrão morfológico de referência, possibilitando a identificação das características intrínsecas do material sem interferência de agentes modificadores. Esse controle experimental foi essencial para distinguir alterações naturais da matriz lignocelulósica daquelas decorrentes dos processos de formulação e adsorção.

A incorporação de quitosana na proporção de 50% (m/m), (Figura 22), teve como objetivo verificar o efeito desse biopolímero na microestrutura do material, uma vez que a quitosana pode atuar como modificador superficial, promovendo recobrimento das partículas, alteração no grau de aglomeração e redistribuição dos poros, fatores que podem ampliar ou restringir a disponibilidade de sítios ativos para a adsorção. Quimicamente, os grupos funcionais responsáveis por essas interações são, principalmente, os grupos amino livres ($-\text{NH}_2$) e hidroxila ($-\text{OH}$), que apresentam alta polaridade e capacidade de estabelecer ligações não covalentes com semioquímicos.

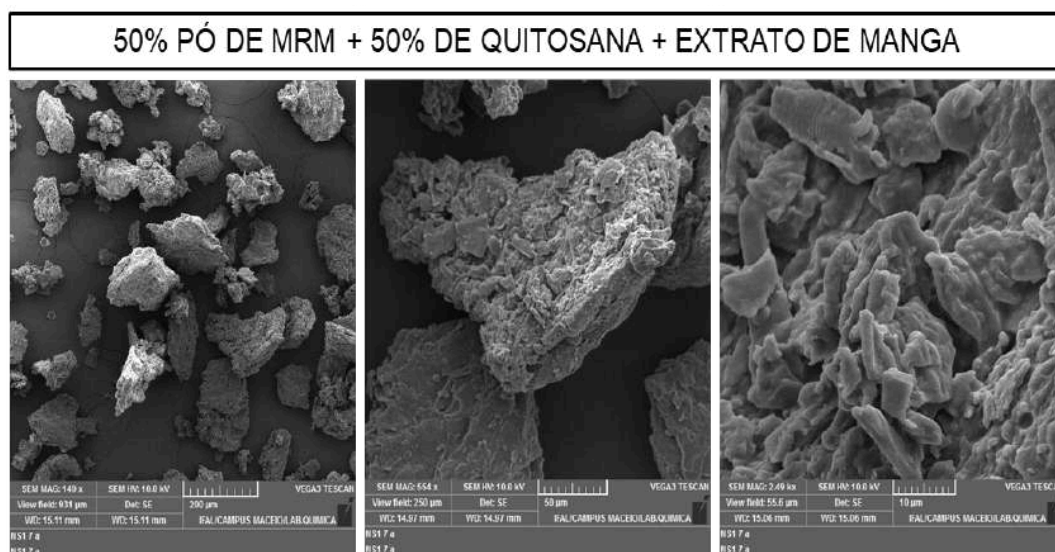
Adicionalmente, a análise das misturas M1, M2, M3 e M4 após o processo de adsorção de semioquímicos permitiu avaliar possíveis modificações morfológicas associadas à retenção dos compostos voláteis, como preenchimento de poros, formação de filmes superficiais e mudanças na textura das partículas. Essas observações contribuíram para a compreensão do mecanismo de adsorção e para a correlação entre as características microestruturais do material e seu desempenho como adsorvente.

Figura 21. Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do pó de manga Rosa (MR) no estágio de maturação madura (M) apresentadas nas ampliações correspondentes às escalas de 200, 50 e 10 μm .



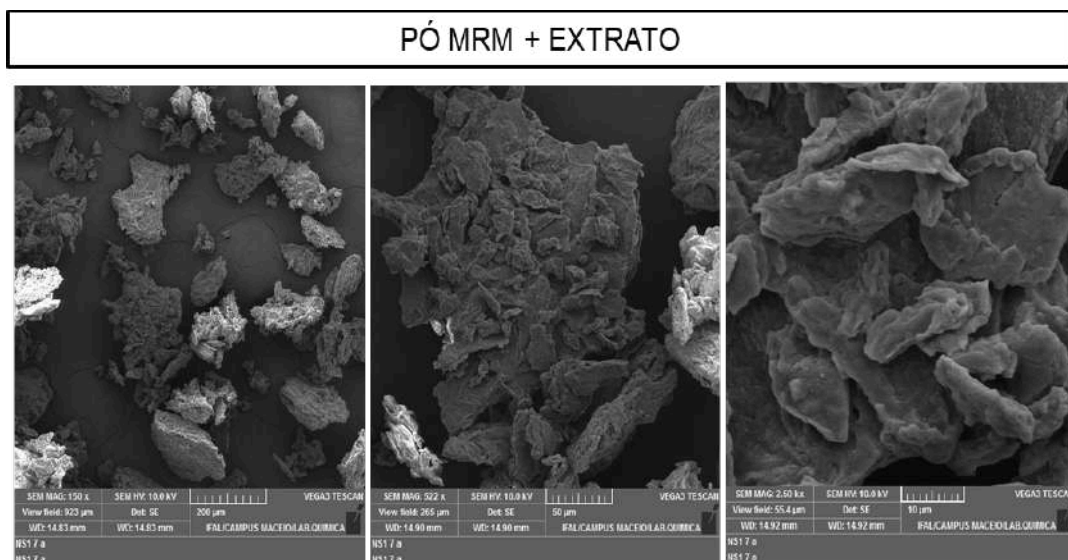
Na Figura 21, correspondente a 100% do pó da casca da manga Rosa madura, apresenta partículas com morfologia irregular e heterogênea, exibindo fragmentos angulosos e superfícies fraturadas. Observa-se elevada rugosidade superficial, com presença de fissuras e reentrâncias distribuídas de forma não uniforme, características típicas de materiais lignocelulósicos moídos. Essa microestrutura sugere elevada área superficial e disponibilidade de sítios ativos, favorecendo interações físicas com moléculas voláteis.

Figura 22. Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do pó de manga Rosa (MR) (50%) no estágio de maturação madura (M), contendo extrato vegetal e 50% de quitosana, apresentadas nas ampliações correspondentes às escalas de 200, 50 e 10 μm .



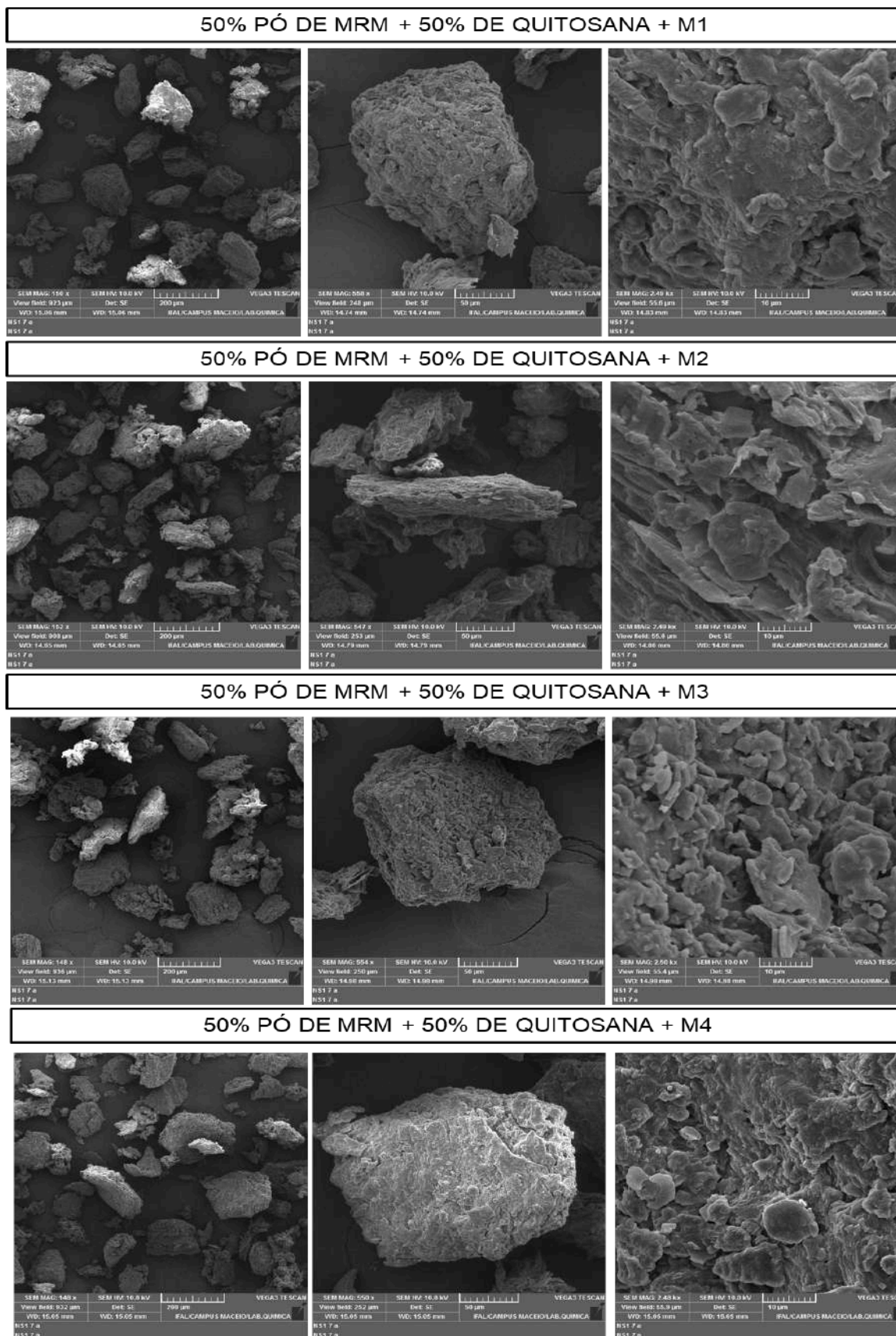
Na figura 22, 50% do pó da casca da manga Rosa madura e 50% de quitosana contendo extrato, apresenta alterações morfológicas evidentes quando comparado ao material puro. Nota-se maior grau de aglomeração das partículas e regiões com aspecto mais compacto e parcialmente recoberto, indicando a interação entre a quitosana, o pó vegetal e o extrato.

Figura 23. Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do pó de manga Rosa (MR) contendo extrato vegetal, apresentadas nas ampliações correspondentes às escalas de 200, 50 e 10 μm .



Na figura 23, o material constituído por 100% do pó da casca da manga Rosa madura contendo extrato, mantém a morfologia irregular observada no material puro, porém com modificações na textura superficial, como suavização parcial das reentrâncias e possível preenchimento de poros, sugerindo a adsorção do extrato sobre a superfície do adsorvente. Essas diferenças morfológicas indicam que tanto a presença da quitosana quanto do extrato influenciam diretamente a organização estrutural do material, com impacto potencial no desempenho de adsorção de semioquímicos.

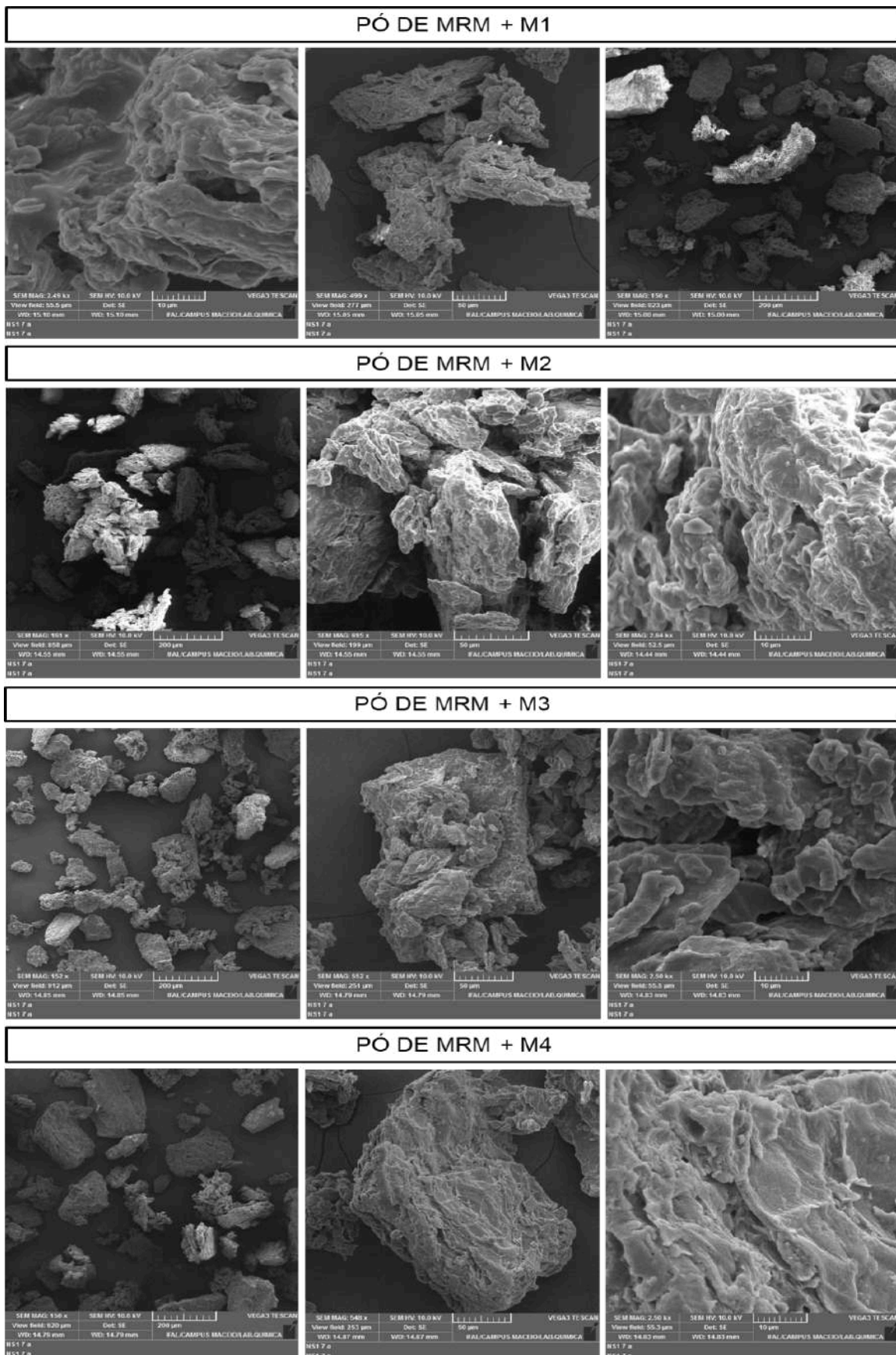
Figura 24- Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos pós de manga Rosa (MR), no estágio de maturação madura (M), referentes à proporção de 50% do pó da casca de manga Rosa madura (MRM) e 50% de quitosana, correspondentes às misturas M1, M2, M3 e M4.



Na Figura 24, correspondente às formulações contendo 50% de quitosana e 50% do pó da casca da manga Rosa madura, observa-se que a análise do substrato com as misturas M1, M2, M3 e M4 adsorvidas, apresentam morfologia predominantemente irregular, porém com diferenças evidentes na organização estrutural e no grau de aglomeração das partículas. De modo geral, a presença da quitosana promove a formação de estruturas mais compactas quando comparadas ao pó vegetal puro, com partículas parcialmente recobertas e interligadas, indicando interação física entre a matriz polimérica e o material lignocelulósico.

Comparativamente, às misturas M1 e M2 exibem partículas mais agregadas, com superfícies menos fragmentadas e aspecto mais contínuo, sugerindo maior recobrimento pela quitosana e, possível preenchimento de poros. As misturas M3 e M4 apresentam superfícies mais rugosas e heterogêneas, com reentrâncias e lamelas mais evidentes, indicando maior exposição da matriz do pó da casca da manga. Essas diferenças morfológicas entre as formulações sugerem que o tipo de mistura influencia diretamente a microestrutura do material.

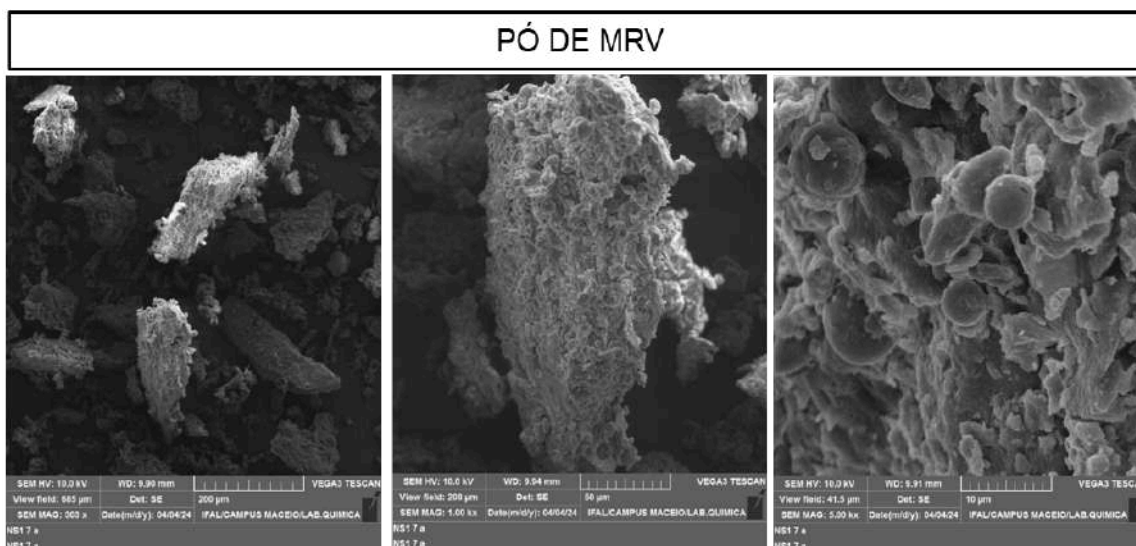
Figura 25- Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos pós de manga Rosa (MR), no estágio de maturação madura (M), referentes à proporção de 100% do pó da casca de manga Rosa madura (MRM) e às misturas M1, M2, M3 e M4.



Na Figura 25, referente às misturas M1, M2, M3 e M4 compostas exclusivamente por 100% do pó da casca da manga Rosa, observa-se que todas as formulações mantêm a morfologia irregular característica do material lignocelulósico, com partículas fragmentadas, angulosas e de tamanhos variados. Em baixas ampliações, as quatro misturas apresentam distribuição heterogênea das partículas, enquanto em maiores ampliações são evidentes superfícies fraturadas, lamelares e com elevada rugosidade, indicando preservação das características estruturais do pó vegetal mesmo após os diferentes tratamentos associados às misturas.

Comparativamente, às misturas M1 e M2 exibem partículas mais dispersas e com maior exposição de reentrâncias e fissuras, sugerindo maior disponibilidade de área superficial. As misturas M3 e M4 apresentam regiões com maior grau de aglomeração e superfícies parcialmente mais compactas, com sobreposição de lamelas e possível preenchimento de microcavidades. Essas diferenças morfológicas indicam que, mesmo utilizando a mesma matriz adsorvente, o tipo de mistura influencia a organização estrutural do material, podendo afetar a acessibilidade aos sítios ativos e, conseqüentemente, o comportamento de adsorção de semioquímicos.

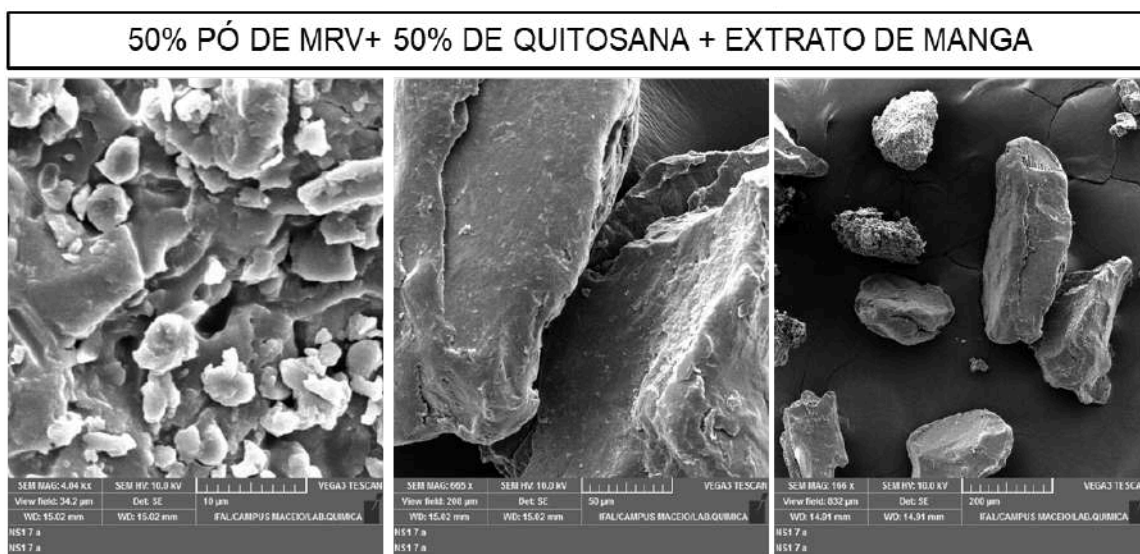
Figura 26. Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do pó de manga Rosa (MR) no estágio de maturação verde (V) apresentadas nas ampliações correspondentes às escalas de 200, 50 e 10 μm .



Na Figura 26, correspondente ao estágio verde do pó da casca da manga Rosa, o primeiro grupo (100% do pó da casca da manga Rosa verde) apresenta partículas com morfologia irregular, predominantemente angulosa, e superfícies fraturadas, porém com menor grau de desestruturação quando comparado ao

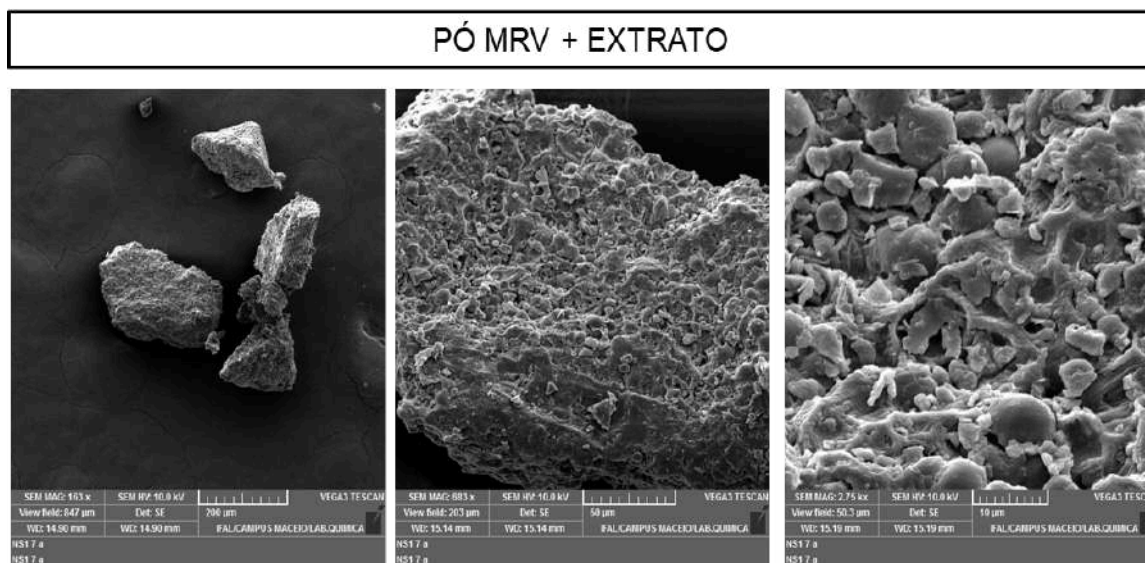
material no estágio maduro. Observa-se rugosidade superficial moderada, com presença de lamelas compactas e menor quantidade de fissuras profundas, o que está associado à maior integridade da parede celular no estágio verde, caracterizada por maior teor de pectinas estruturadas e menor degradação dos polissacarídeos.

Figura 27. Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do pó de manga Rosa (MR) (50%) no estágio de maturação verde (V), contendo extrato vegetal e quitosana (50%), apresentadas nas ampliações correspondentes às escalas de 200, 50 e 10 μm .



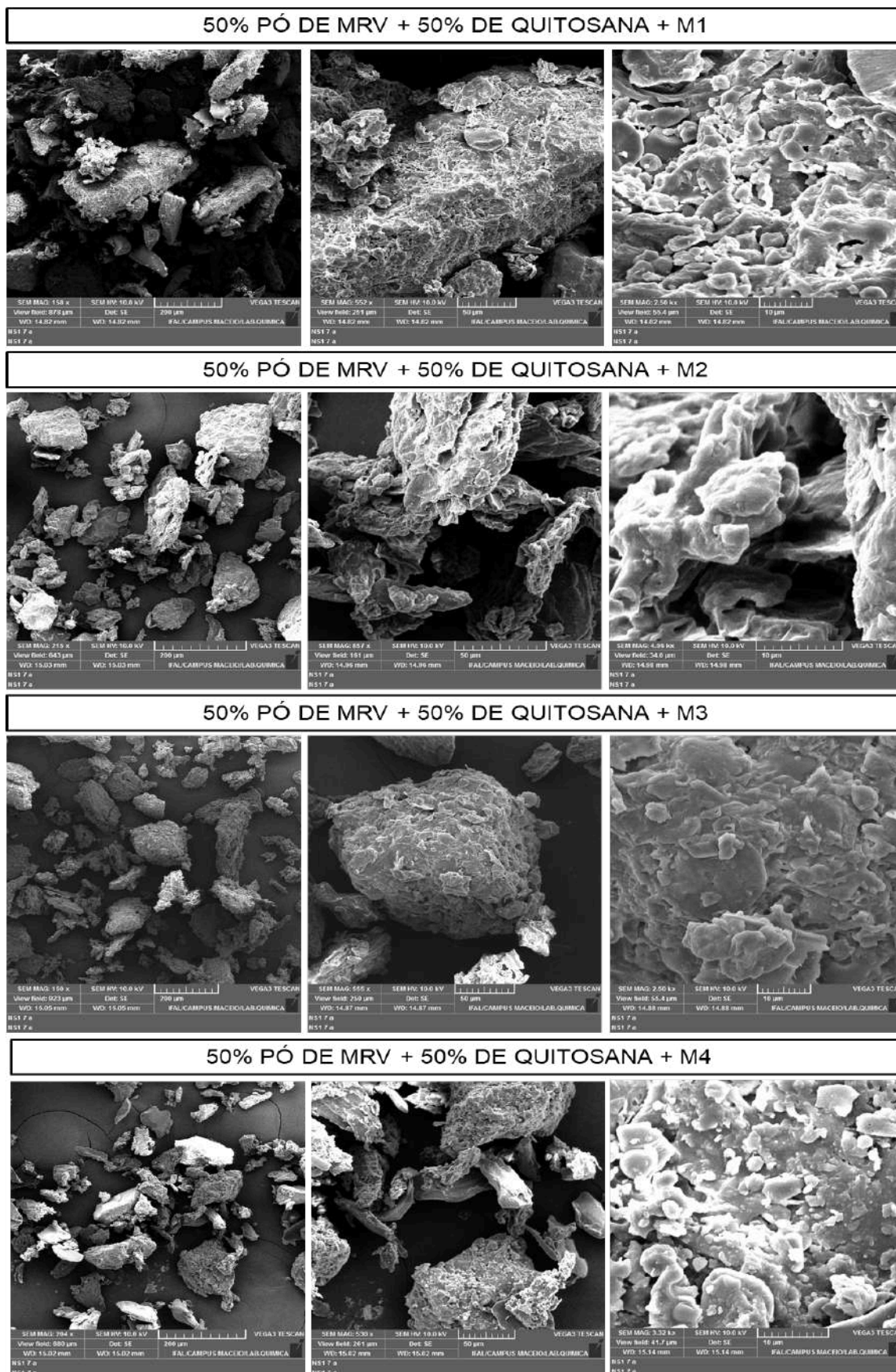
Na figura 27, correspondente ao material constituído por 50% do pó da casca da manga Rosa verde e 50% de quitosana contendo extrato, evidencia alterações morfológicas significativas, com maior aglomeração das partículas e superfícies parcialmente recobertas, sugerindo interação entre a quitosana, o pó vegetal e o extrato.

Figura 28. Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do pó de manga Rosa (MR) no estágio de maturação verde (V), contendo extrato vegetal apresentadas nas ampliações correspondentes às escalas de 200, 50 e 10 μm .



Na figura 28, observa-se que 100% do pó da casca da manga Rosa verde contendo extrato, mantém a morfologia irregular observada no material puro, porém apresenta modificações na textura superficial, como suavização de reentrâncias e preenchimento parcial de poros, indicativos da adsorção do extrato sobre a superfície do adsorvente. Essas diferenças demonstram que, no estágio verde, tanto a adição de quitosana quanto a incorporação do extrato influenciam de forma marcante a microestrutura do material, com impacto direto na disponibilidade de sítios ativos para a adsorção de semioquímicos.

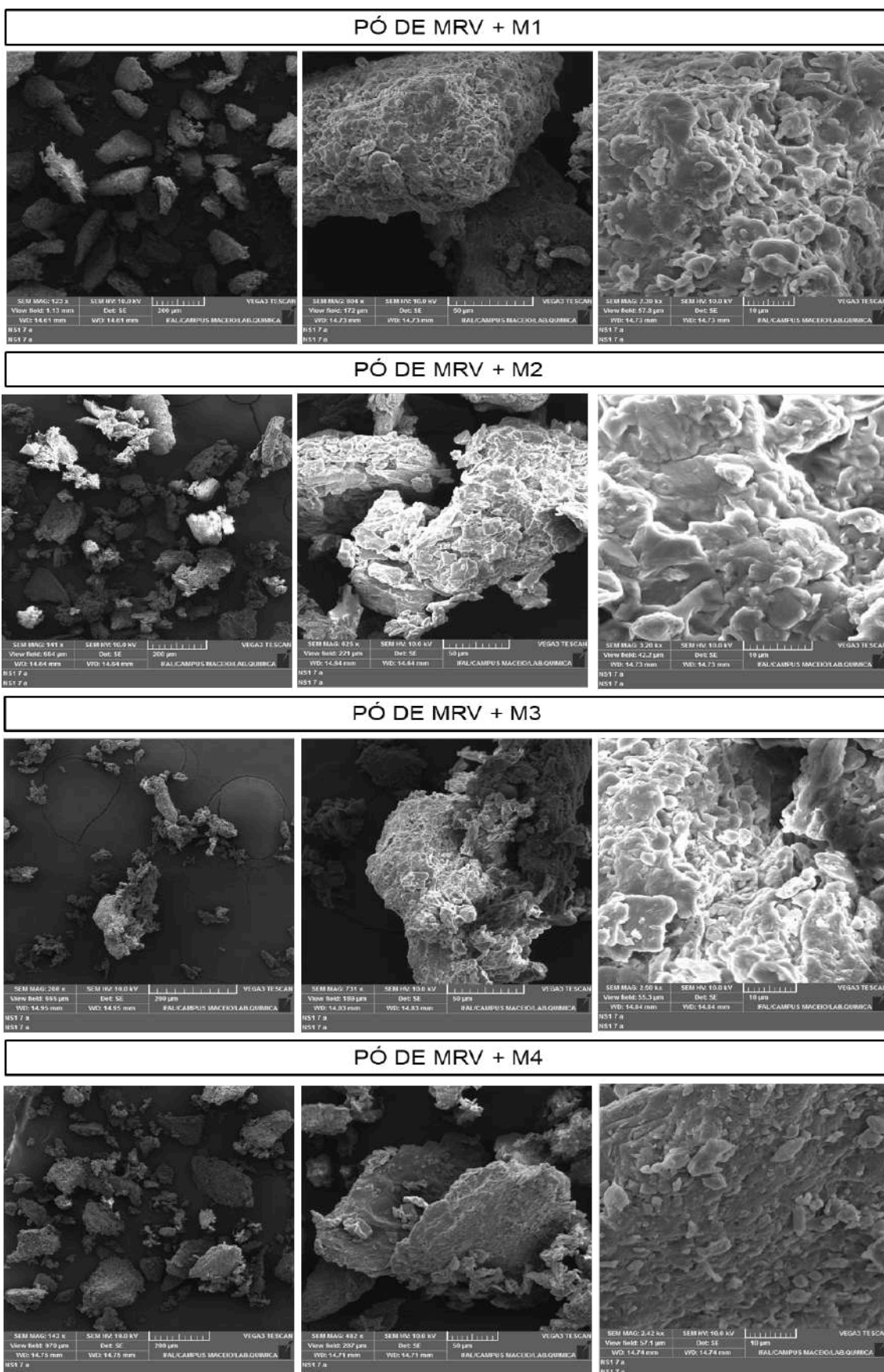
Figura 29- Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos pós de manga Rosa (MR), no estágio de maturação verde (V), referentes à proporção de 50% do pó da casca de manga Rosa verde (MRV) e 50% de quitosana, correspondentes às misturas M1, M2, M3 e M4.



Na Figura 29, correspondente às formulações contendo 50% do pó da casca da manga Rosa no estágio verde (MRV) e 50% de quitosana, observa-se que as misturas M1, M2, M3 e M4 apresentam morfologia predominantemente irregular, com partículas de tamanhos variados e tendência à formação de aglomerados. De modo geral, a presença da quitosana associada ao pó verde promove estruturas mais compactas quando comparadas ao material vegetal puro, com partículas interligadas e superfícies parcialmente recobertas, indicando interação física entre a matriz polimérica e o material lignocelulósico ainda pouco degradado do estágio verde.

Comparativamente, as misturas M1 e M2 exibem maior heterogeneidade morfológica, com partículas mais fragmentadas e presença de reentrâncias e fissuras, sugerindo maior exposição de sítios ativos. As misturas M3 e M4 apresentam superfícies mais contínuas e regiões com aspecto mais denso, indicando maior recobrimento pela quitosana e possível preenchimento de poros. Essas diferenças estruturais entre as formulações sugerem que, mesmo mantendo a proporção de MRV e quitosana, o tipo de mistura influencia a organização microestrutural do material, podendo impactar a difusão, retenção e estabilidade dos semioquímicos adsorvidos.

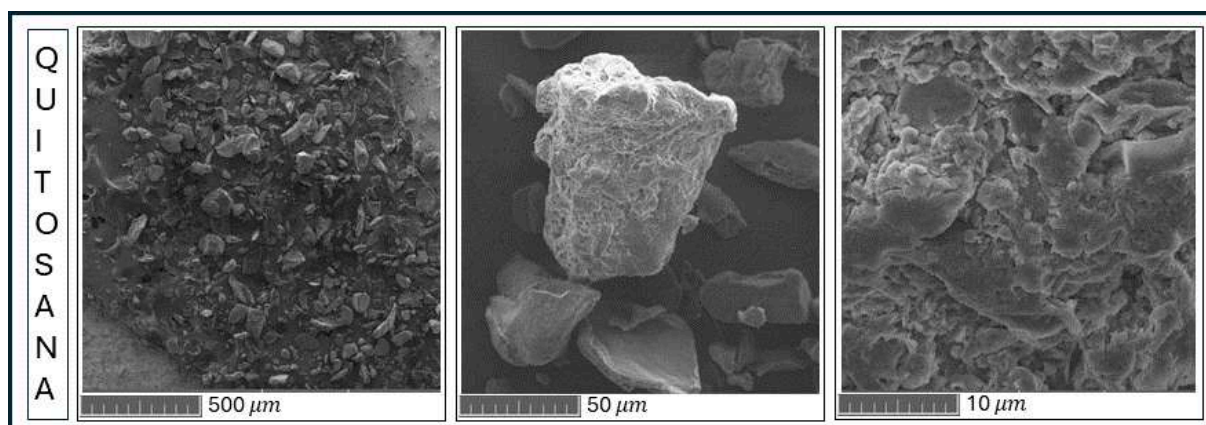
Figura 30- Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos pós de manga Rosa (MR), no estágio de maturação Verde (V), referentes à proporção de 100% do pó da casca de manga Rosa verde (MRV) e às misturas M1, M2, M3 e M4.



Na Figura 30, referente ao estágio de maturação verde do pó da casca da manga Rosa, observa-se que o material constituído por 100% do pó de manga Rosa verde (MRV) apresenta partículas com morfologia irregular, formatos angulosos e superfícies fraturadas, porém com aspecto estrutural mais íntegro quando comparado ao material maduro. As partículas exibem rugosidade moderada, com lamelas compactas e menor presença de fissuras profundas, refletindo a maior organização da parede celular no estágio verde, característica associada a maior rigidez estrutural do tecido vegetal.

Ao comparar o MRV puro com as misturas M1, M2, M3 e M4, observa-se que estas últimas apresentam alterações morfológicas evidentes, principalmente no grau de aglomeração e na textura superficial. As misturas tendem a formar partículas mais compactas e irregulares, com superfícies mais densas e regiões de recobrimento parcial, indicando a interação entre o pó vegetal e os componentes adicionados nas misturas. Entre as formulações, M1 e M2 apresentam maior heterogeneidade estrutural, com maior exposição de reentrâncias e microcavidades, enquanto M3 e M4 exibem superfícies mais contínuas e compactadas. Essas diferenças sugerem que, mesmo partindo do mesmo material vegetal no estágio verde, o tipo de mistura influencia a microestrutura do adsorvente, com possíveis impactos na acessibilidade aos sítios ativos e na eficiência de adsorção de semioquímicos.

Figura 31. Análise MEV do pó de quitosana nas resoluções de (500, 50 e 10) μm .



A análise do MEV da quitosana em diferentes resoluções (500, 100 e 10 μm) mostra que a superfície da quitosana pura é heterogênea, formada por uma distribuição granulométrica irregular, com superfície rugosa, composta de camadas na forma de escamas (Figura 31). Uma comparação entre a quitosana em pó e os pó produzido a partir da variedade de manga rosa podem ser considerados semelhantes quanto a sua morfologia.

A Tabela 07 apresenta uma síntese comparativa dos principais resultados obtidos por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para os pós da casca da manga Rosa nos estágios de maturação verde e maduro, considerando diferentes composições e misturas. De forma geral, os resultados evidenciam que o estágio de maturação, a incorporação de quitosana e o tipo de mistura (M1–M4) exercem influência direta sobre a morfologia das partículas, a rugosidade superficial, o grau de aglomeração e a organização estrutural do material. Observa-se que o material no estágio maduro apresenta maior desestruturação e rugosidade, enquanto o estágio verde mantém maior integridade estrutural. A adição de quitosana promove compactação e recobrimento parcial das partículas, alterando a acessibilidade aos sítios ativos. Adicionalmente, as variações morfológicas observadas entre as misturas M1, M2, M3 e M4 estão relacionadas, de forma indireta, à composição química dos semioquímicos utilizados em cada formulação (Tabela 6). Misturas contendo maior proporção de compostos oxigenados, como linalol, 1-heptanol e (Z)-3-nonen-1-ol, tendem a apresentar maior afinidade por grupos hidroxila e amina da matriz lignocelulósica, favorecendo um recobrimento superficial mais homogêneo e o possível preenchimento parcial de poros. Por outro lado, misturas ricas em terpenos hidrocarbonados, como α -pineno, β -mirceno e sabineno, interagem

predominantemente por forças de Van der Waals, resultando em superfícies mais rugosas e heterogêneas. Dessa forma, as diferenças microestruturais evidenciadas por MEV refletem variações no comportamento físico de adsorção, contribuindo para a compreensão do desempenho do pó da casca da manga Rosa, isolado ou associado à quitosana, como adsorvente de semioquímicos.

TABELA 07. Análise morfológica do pó de manga rosa e implicações na adsorção de semioquímicos.

Estágio	Figura	Principais características morfológicas observadas	Possíveis implicações para adsorção
Maduro	21	Partículas irregulares e fragmentadas, elevada rugosidade no pó de MR puro. Maior aglomeração e recobrimento nas amostras com quitosana e suavização superficial com extrato	Alta área superficial onde possivelmente as modificações estruturais afetam a acessibilidade dos sítios ativos
	22	Estruturas mais compactas, aglomeração acentuada e diferenças de rugosidade entre misturas	Tipo de mistura influencia retenção e difusão dos semioquímicos
	23	Morfologia irregular preservada; M1/M2 mais dispersas; M3/M4 mais compactadas	Variações microestruturais explicam diferenças de desempenho adsorativo
Verde	24	Estrutura mais íntegra com menor rugosidade que no pó do estágio maduro. Compactação com quitosana e preenchimento parcial de poros	Menor área superficial, porém maior estabilidade estrutural
	25	Aglomeração elevada com superfícies parcialmente recobertas e diferenças entre misturas	Quitosana modifica a microestrutura e influencia retenção

26	Partículas angulosas e lamelas compactas com misturas mais densas	Misturas alteram a disponibilidade de sítios ativos
----	---	---

Figura 32. FTIR das formulações do pó de MRV puro e MRV 50% associados às misturas M1, M2, M3 e M4.

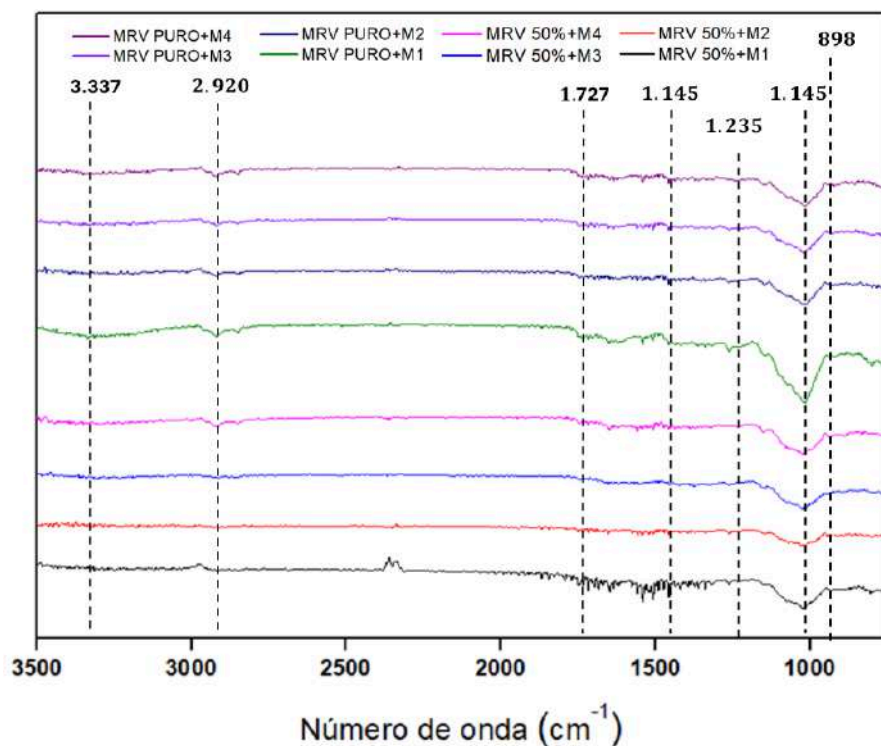
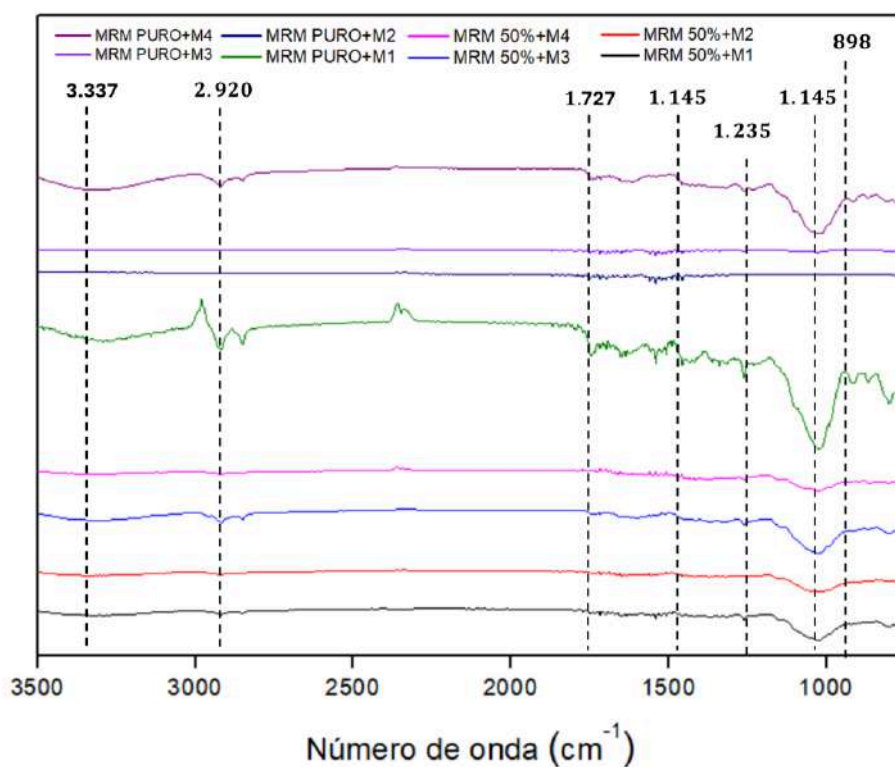


Figura 33. FTIR das formulações do pó de MRM puro e MRM 50% associados às misturas M1, M2, M3 e M4.



A espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) fornece informações sobre grupos funcionais presentes, garantindo que os extratos e aditivos mantenham sua integridade química (PINTO, 2023). Os espectros de FTIR obtidos para o pó da casca da manga Rosa, nas diferentes formulações e estágios de maturação, evidenciam a predominância de bandas características de materiais lignocelulósicos, com elevada similaridade estrutural entre todas as amostras analisadas (Figura 32 e Figura 33). A banda larga observada em torno de 3337 cm^{-1} está associada ao estiramento do grupo -OH , decorrente principalmente das ligações de hidrogênio presentes em polissacarídeos como celulose, hemicelulose e pectinas, bem como da umidade adsorvida. A presença consistente dessa banda em todas as amostras indica a manutenção da matriz hidrofílica do material, aspecto fundamental para interações físicas e intermoleculares com compostos voláteis.

As bandas observadas na região de aproximadamente 2920 cm^{-1} são atribuídas ao estiramento das ligações C-H de grupos alifáticos, comuns às cadeias poliméricas da parede celular vegetal. A banda em torno de 1727 cm^{-1} está relacionada ao estiramento axial do grupo C=O , típico de grupos ésteres e ácidos carboxílicos presentes nas pectinas, confirmando a natureza estrutural do material, conforme descrito por Brígida *et al.* (2010). Na faixa de $1450\text{--}1370\text{ cm}^{-1}$ observam-se deformações angulares de grupos CH_2 e CH_3 , enquanto a banda em 1235 cm^{-1} é atribuída ao estiramento aromático do grupo C-O , frequentemente associado à lignina (Gomes *et al.*, 2015).

As bandas registradas em torno de 1145 cm^{-1} correspondem à deformação assimétrica do grupo C-O-C , característica das ligações glicosídicas dos polissacarídeos estruturais, enquanto os sinais observados em aproximadamente 1019 cm^{-1} estão associados ao estiramento C-O e aos modos vibracionais do anel, conforme relatado por Célio *et al.* (2014). Adicionalmente, a banda em torno de 898 cm^{-1} está relacionada à deformação angular do C-H do anel aromático, corroborando a presença de componentes lignínicos na matriz vegetal (Souza *et al.*, 2009).

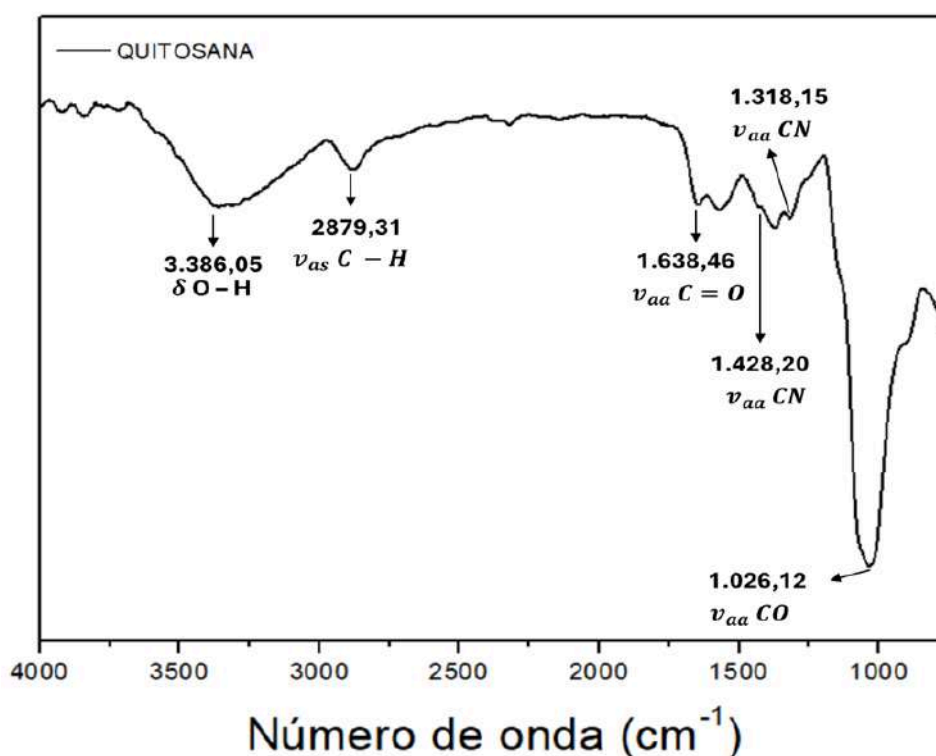
Embora, em uma análise visual conjunta, os espectros das amostras MRM puro + M2 e MRM puro + M3 aparentem diferenças, a ampliação das regiões espectrais demonstra que não há surgimento de novas bandas nem deslocamentos significativos. Essas variações decorrem predominantemente de diferenças de intensidade relativa e sobreposição de sinais, associadas à heterogeneidade do material e à distribuição dos compostos adsorvidos. Do ponto de vista

químico-estrutural, ambas as formulações permanecem equivalentes, indicando que a incorporação das misturas ocorre majoritariamente por interações físicas, sem modificação química da matriz lignocelulósica.

A ausência de variações significativas nos espectros de FTIR entre os estágios de maturação verde e maduro pode ser atribuída ao fato de que, embora ocorram mudanças fisiológicas e bioquímicas durante o amadurecimento do fruto, a estrutura química fundamental da casca, composta majoritariamente por celulose, hemicelulose, lignina e pectinas, permanece preservada. Assim, as diferenças observadas entre os estágios refletem-se predominantemente em aspectos morfológicos e físicos, conforme evidenciado pelas análises de MEV, e não em alterações químicas detectáveis por FTIR.

Sob a perspectiva funcional, as bandas associadas ao grupo $-OH$ indicam elevada densidade de grupos hidroxila na superfície do material, característica altamente favorável à adsorção de semioquímicos, especialmente compostos oxigenados, uma vez que possibilitam a formação de ligações de hidrogênio. De forma complementar, as bandas relacionadas aos grupos $C-H$, $C-O-C$ e $C-O$ indicam a presença de cadeias poliméricas capazes de promover interações por forças de Van der Waals e adsorção física, particularmente relevantes para compostos terpênicos hidrocarbonados. Dessa forma, a similaridade espectral observada entre as amostras não representa uma limitação, mas sim uma vantagem funcional, indicando que o pó da casca da manga Rosa mantém grupos químicos estáveis e adequados para atuar como substrato adsorvente de semioquímicos, sem comprometimento de sua integridade estrutural.

Figura 34. FTIR do pó de Quitosana

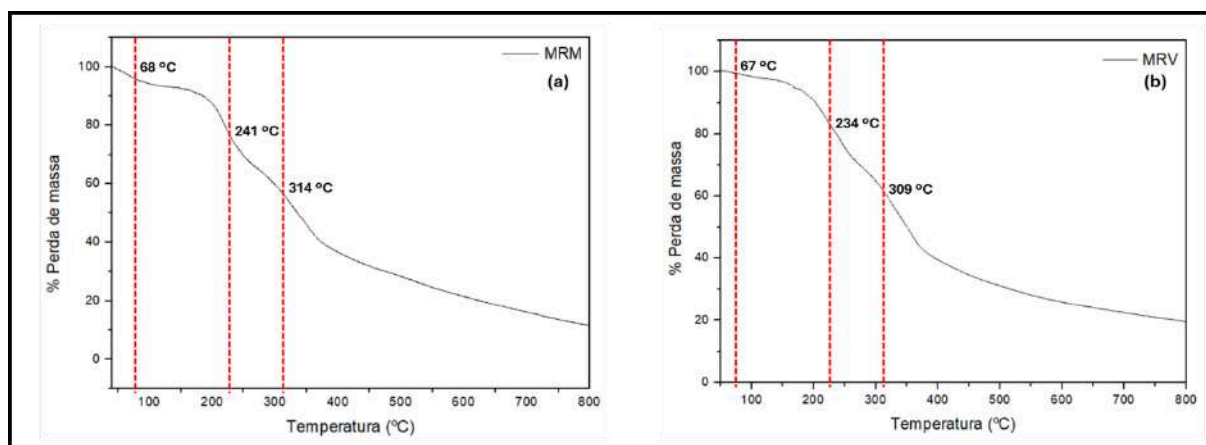


A análise por FTIR do pó de quitosana, Figura 34, evidenciou bandas características do biopolímero na região espectral entre 4000 e 700 cm⁻¹, confirmando sua identidade química e funcionalidade como matriz adsorvente. A banda larga observada em torno de 3386,05 cm⁻¹ é atribuída ao estiramento dos grupos O-H, frequentemente sobreposto ao N-H, refletindo a elevada densidade de ligações de hidrogênio na estrutura da quitosana. A banda em 2879,31 cm⁻¹ está relacionada ao estiramento simétrico das ligações C-H alifáticas, enquanto o sinal em 1638,46 cm⁻¹ corresponde à vibração de estiramento do grupo C=O (amida I), associada às unidades parcialmente acetiladas do polímero. As bandas em 1428,20 e 1318,15 cm⁻¹ foram atribuídas às vibrações das ligações C-N, e a banda intensa em 1026,12 cm⁻¹ ao estiramento da ligação C-O, em consonância com os dados reportados por Yasmeen *et al.* (2016).

Quando comparados aos espectros de FTIR dos pós da casca da manga Rosa, observa-se elevada similaridade estrutural entre a quitosana e a matriz lignocelulósica vegetal, especialmente nas regiões associadas aos grupos hidroxila (≈3337 cm⁻¹), às ligações C-H (≈2920 cm⁻¹) e às vibrações C-O e C-O-C (1145–1019 cm⁻¹). Do ponto de vista funcional, a presença concomitante de grupos hidroxila, amina, carbonila e ligações glicosídicas tanto na quitosana quanto nas

cascas de manga confere ao material compósito elevado potencial adsorvente. Esses grupos favorecem interações por ligações de hidrogênio, forças de Van der Waals e interações dipolo–dipolo, fundamentais para a retenção de compostos orgânicos voláteis. Assim, a similaridade química observada por FTIR não representa limitação, mas sim uma vantagem, pois indica elevada afinidade entre os componentes do sistema, contribuindo para a estabilidade estrutural e funcional do nanocompósito proposto.

Figura 35. Curvas de TG das amostras de MRM e MRV.



A Termogravimetria (TG) permite avaliar a variação de massa da amostra em função da temperatura, sendo fundamental para determinar a estabilidade térmica do substrato e a preservação de compostos bioativos durante o processamento (SILVA, 2019). As curvas termogravimétricas, Figura 35 (a) e (b), representam o comportamento térmico das amostras de manga rosa madura (MRM) e manga rosa verde (MRV), respectivamente, consideradas isoladamente. Em ambas as curvas observa-se um perfil típico de materiais lignocelulósicos, com três eventos principais de perda de massa bem definidos, Tabela 08. O primeiro evento, ocorrendo abaixo de aproximadamente 100 °C, está associado predominantemente à eliminação de água fisicamente adsorvida e de compostos voláteis de baixa massa molar. Nota-se que, embora as temperaturas iniciais sejam muito próximas (68 °C para Figura 31 (a) e (b) e 67 °C para Figura 35 (a) e (b), a magnitude da perda de massa inicial é superior na manga madura, indicando maior retenção de umidade e/ou de compostos voláteis, coerente com o estágio fisiológico mais avançado do fruto.

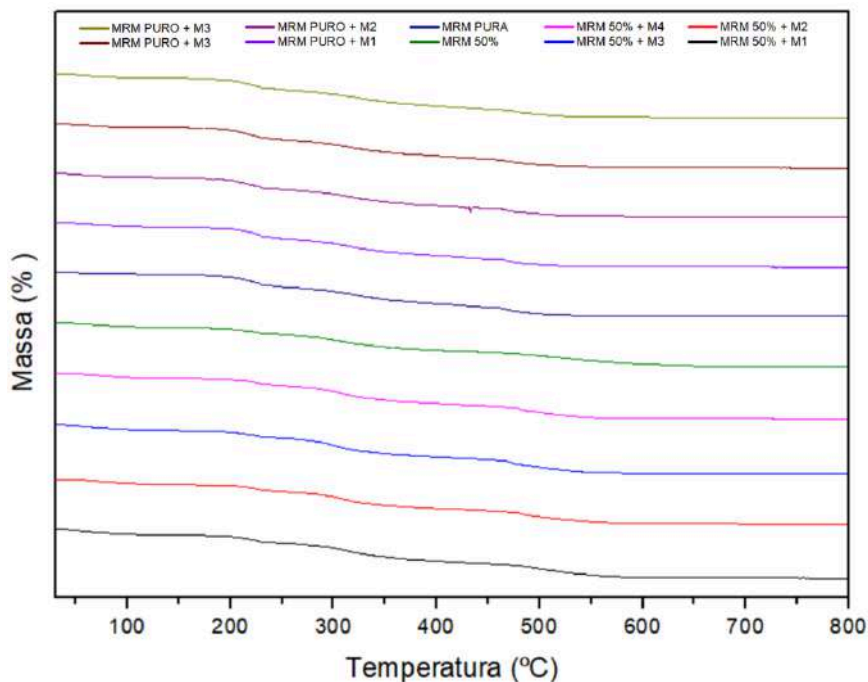
O segundo e o terceiro eventos observados em Figura 35 (a) e (b), concentram-se entre aproximadamente 200°C e 350°C, correspondendo à degradação térmica das frações orgânicas estruturais. O segundo evento é atribuído

majoritariamente à decomposição de hemicelulose e componentes amorfos, enquanto o terceiro evento está relacionado à degradação da celulose e à decomposição progressiva da lignina. Apesar de ambas as amostras apresentarem temperaturas de degradação muito semelhantes, a manga madura apresenta perdas de massa mais elevadas nesses estágios, refletindo diferenças na composição química decorrentes do amadurecimento, como maior teor de açúcares, compostos fenólicos e redução da cristalinidade da parede celular.

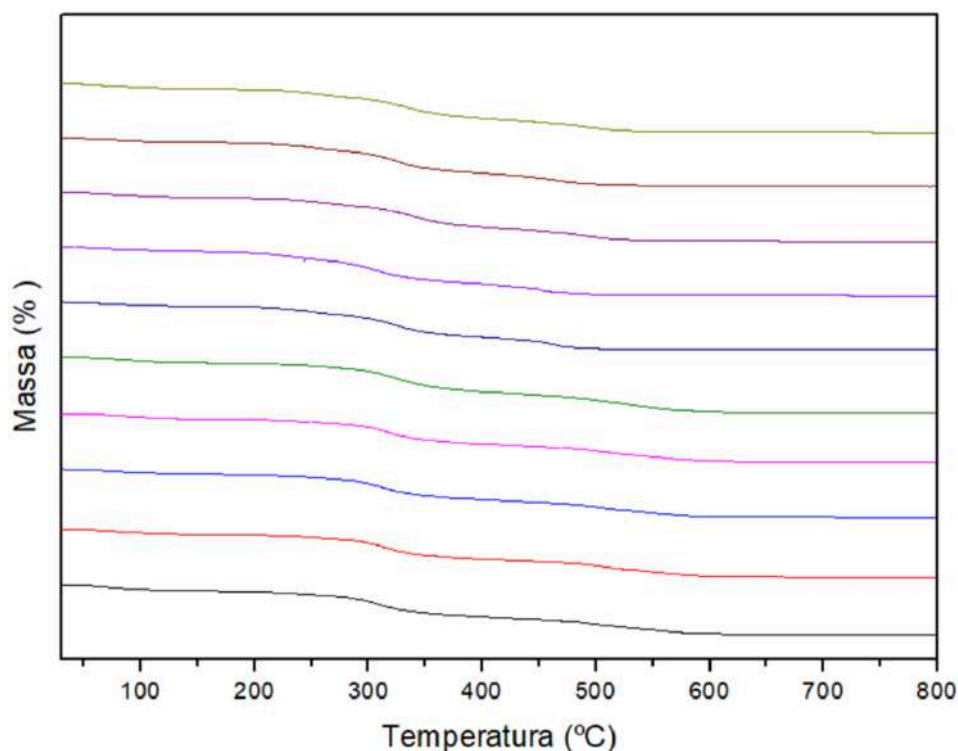
Tabela 08. Principais etapas de degradação e perda de massa das amostras de MRM e MRV.

Amostra	1º Evento	Perda de massa (%)	2º Evento	Perda de massa (%)	3º Evento	Perda de massa (%)	% Resíduo a 800 °C
MRM	68 °C	2,88	241 °C	27,99	314 °C	43,14	11,94
MRV	67 °C	0,60	234 °C	19,14	309 °C	37,35	19,65

As curvas termogravimétricas obtidas a partir da manga rosa madura na presença das misturas semioquímicas e das diferentes proporções de material adsorvente, Figura 32, mantêm o padrão geral de degradação observado em FIGURA 31 (a). À primeira vista, a sobreposição de múltiplas curvas pode sugerir diferenças acentuadas; contudo, trata-se de um efeito visual decorrente da apresentação conjunta de vários perfis térmicos. Quando analisadas individualmente, todas as curvas associadas à manga madura exibem os mesmos eventos térmicos fundamentais: perda inicial de voláteis, seguida pela degradação das frações polissacarídicas e formação de resíduo carbonáceo.

Figura 36. Curvas de TG das formulações de MRM.

Observa-se, no entanto, que a presença das misturas provoca pequenas variações na intensidade das perdas de massa em cada estágio, sem alterar as temperaturas características dos eventos. Esse comportamento indica que os compostos semioquímicos interagem predominantemente por mecanismos físicos, como adsorção e retenção superficial, não promovendo alterações estruturais significativas na matriz orgânica do pó de manga madura. Desta forma, o perfil térmico geral permanece semelhante ao da amostra pura, reforçando a estabilidade térmica do material frente à incorporação das misturas.

Figura 37. Curvas de TG das formulações de MRV.

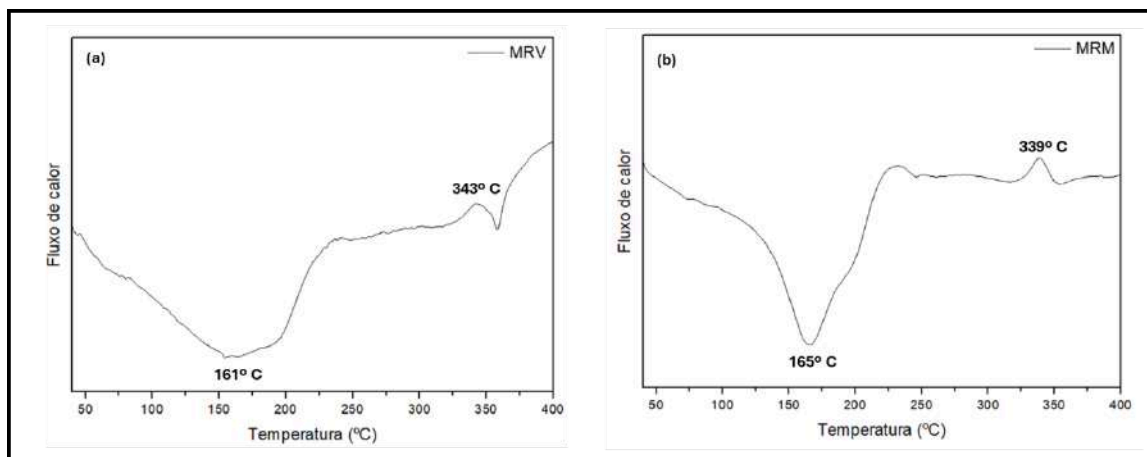
De modo análogo, as curvas termogravimétricas obtidas a partir da manga rosa verde, Figura 37, apresentam comportamento térmico comparável ao observado em Figura 35 (b). Mesmo com a inclusão das misturas e das proporções combinadas de materiais adsorventes, os eventos térmicos principais permanecem localizados nas mesmas faixas de temperatura. O primeiro estágio continua associado à eliminação de água e voláteis, enquanto os estágios subsequentes refletem a degradação das frações lignocelulósicas.

Embora visualmente as curvas de Figura 37 pareçam mais dispersas devido à sobreposição de múltiplas análises, a avaliação individual evidencia que não há surgimento de novos eventos térmicos. As diferenças observadas concentram-se na magnitude das perdas de massa, especialmente nos estágios intermediários, o que pode ser atribuído à maior rigidez estrutural e menor teor de compostos facilmente degradáveis da manga verde em comparação à madura. Esse comportamento é consistente com o menor grau de transformação bioquímica do fruto ainda não amadurecido.

Em síntese, a comparação dos perfis termogravimétricos evidencia que o comportamento térmico das amostras permanece estruturalmente semelhante, independentemente do estágio de maturação do fruto ou da incorporação das misturas. As diferenças aparentes observadas nas figuras decorrem, predominantemente, da sobreposição de múltiplas curvas em uma mesma

representação gráfica, e não da ocorrência de novos eventos ou mecanismos de degradação térmica. Esses resultados indicam que a presença das misturas não compromete a estabilidade térmica dos materiais avaliados, o que é um aspecto relevante para aplicações que envolvam etapas de armazenamento, processamento ou exposição a variações de temperatura.

Figura 38. Curvas de DSC das amostras de MRV e MRM.



A Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) identifica transições físicas e reações endotérmicas ou exotérmicas, auxiliando na formulação do substrato ao evitar degradação de voláteis e alterações na textura que possam comprometer a liberação de semioquímicos (SILVA, 2023). As análises de calorimetria exploratória diferencial (DSC) das amostras de manga rosa verde (MRV) e manga rosa madura (MRM) são apresentadas na Figura 38 (a e b). Os perfis térmicos obtidos permitem a identificação de eventos térmicos característicos associados à composição polissacarídica das amostras, sendo possível discutir qualitativamente os principais fenômenos observados.

Em ambas as amostras, observa-se inicialmente um evento endotérmico bem definido, localizado em aproximadamente 161 °C para a MRV e 165 °C para a MRM. Esses eventos são atribuídos à remoção de água ligada estruturalmente às cadeias de polissacarídeos, especialmente à pectina presente na parede celular vegetal. A proximidade entre as temperaturas desses picos indica comportamento térmico semelhante entre as amostras, com discreta defasagem térmica compatível com diferenças no teor de água e no grau de interação da água com a matriz polimérica em função do estágio de maturação do fruto, conforme descrito na literatura para materiais ricos em pectina (RIBEIRO, 2022).

Em temperaturas mais elevadas, ambas as amostras apresentam um segundo evento térmico de natureza exotérmica, localizado em torno de 343 °C para a MRV e 339 °C para a MRM. Esse evento está associado à degradação térmica dos polissacarídeos constituintes da matriz vegetal, envolvendo processos de despolimerização, quebra de ligações glicosídicas e rearranjos estruturais da cadeia polimérica. A ocorrência desses picos em faixas de temperatura próximas reforça a similaridade estrutural das amostras, independentemente do estágio de maturação, sendo consistente com o comportamento térmico descrito para polissacarídeos vegetais submetidos a aquecimento (EINHORN-STOLL; KUNZEK; DONGOWSKI, 2009).

Cabe destacar que, no presente estudo, a interpretação das análises de DSC concentrou-se nos eventos térmicos claramente definidos e reprodutíveis observados nas curvas apresentadas. Dessa forma, a discussão foi direcionada exclusivamente aos fenômenos térmicos descritos, os quais fornecem informações relevantes sobre a estabilidade térmica e o comportamento da matriz polissacarídica das amostras de manga rosa verde e madura, em consonância com os objetivos propostos.

A Microextração em Fase Sólida (SPME) concentra os compostos emitidos pelo substrato de forma sensível e sem solventes, enquanto a Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (GC-MS) permite identificar e quantificar esses compostos, confirmando a presença de semioquímicos atrativos (GARCÍA, 2021). Em relação às análises por SPME, os resultados apresentados nas Tabelas 9, 10 e 11 evidenciam que o perfil de liberação de compostos voláteis por SPME, no intervalo inicial de 1 hora, é fortemente influenciado tanto pelo estágio fisiológico da manga rosa quanto pela composição do material adsorvente, especialmente pela presença ou ausência de quitosana. Esse comportamento é consistente com o descrito para matrizes naturais e biopoliméricas, nas quais os processos de adsorção e liberação de compostos bioativos ocorrem de forma dinâmica e dependente das interações físico-químicas estabelecidas entre os constituintes da matriz e os compostos voláteis incorporados, conforme discutido por Zobot *et al.* (2021).

Conforme demonstrado na Tabela 9, o pó da casca de manga-rosa madura apresenta um perfil volátil intrínseco mais complexo, caracterizado pela liberação de terpenoides, álcoois e ésteres voláteis, além de hidrocarbonetos de cadeia média e longa. Esse comportamento reflete a maior complexidade química do tecido vegetal

em estágio avançado de maturação, no qual ocorre intensificação das rotas metabólicas responsáveis pela formação de compostos aromáticos. Em matrizes vegetais maduras, esses compostos coexistem com polissacarídeos estruturais e outros constituintes macromoleculares, os quais exercem papel fundamental na retenção e liberação gradual de compostos bioativos, conforme descrito para matrizes naturais em sistemas de encapsulamento e liberação controlada.

Quando as misturas sintéticas M1–M4 são incorporadas ao pó da casca madura, observa-se a liberação concomitante de compostos característicos das formulações, como 1-heptanol, linalol, (Z)-3-nonen-1-ol e α -farneseno, juntamente com compostos próprios do substrato vegetal. Esse comportamento indica que, no intervalo temporal avaliado por SPME, ocorre uma ocupação inicial compartilhada dos sítios adsorventes, sem evidências de bloqueio definitivo ou supressão da liberação de qualquer constituinte. De acordo com Zabet *et al.* (2021), em sistemas baseados em matrizes naturais complexas, a liberação inicial tende a refletir diferenças de afinidade molecular, volatilidade e interação com os domínios hidrofílicos e hidrofóbicos da matriz.

A adição de quitosana ao material adsorvente, na proporção de 50%, promove alterações claras no perfil de liberação observado na Tabela 9, com reorganização da contribuição relativa dos compostos liberados. Esse efeito pode ser atribuído à elevada densidade de grupos amino e hidroxila da quitosana, capazes de estabelecer interações intermoleculares adicionais com os compostos voláteis, modulando a cinética de liberação no intervalo inicial analisado. Conforme discutido por Zabet *et al.* (2021), a quitosana atua como matriz reguladora da liberação de compostos bioativos, permitindo controle da disponibilidade dos voláteis sem comprometer a integridade estrutural do material, característica essencial para aplicações em sistemas de liberação controlada voltados às áreas alimentar e agrícola.

Tabela 09. Liberação de compostos voláteis por SPME na manga-rosa madura.

Condição avaliada	Compostos liberados identificados	Possível origem predominante
Pó puro da casca (madura)	(Z)-3-hexen-1-ol propanoato; (Z)-ocimeno; limoneno; octanoato de etila; hidrocarbonetos	Substrato (manga madura)

Pó + Mistura M1	1-heptanol; β -mirceno; α -pineno; canfeno	Mistura + substrato
Pó + Mistura M2	β -mirceno (traços); fundo alifático do substrato	Predomínio do substrato
Pó + Mistura M3	(Z)-3-nonen-1-ol; β -mirceno; octanoato de etila	Mistura + substrato
Pó + Mistura M4	β -mirceno; canfeno; monoterpenos secundários (limoneno, ocimeno)	Mistura + substrato
50% pó + 50% quitosana + misturas	Manutenção de 1-heptanol (M1); β -mirceno; redução relativa de ésteres do fruto	Mistura com modulação pela quitosana

Em contraste, os resultados apresentados na Tabela 10 demonstram que o pó da casca de manga rosa verde possui um perfil volátil intrínseco mais simples, caracterizado pela predominância de hidrocarbonetos e terpenoides não oxigenados, como β -mirceno, além de alcoóis leves. Essa diferença está associada ao menor grau de complexidade química típico de matrizes vegetais em estágios fisiológicos iniciais, nas quais a diversidade de metabólitos voláteis disponíveis é reduzida. Estudos sobre matrizes naturais e resíduos vegetais indicam que materiais com menor heterogeneidade química tendem a apresentar perfis de liberação mais restritos, sobretudo quando avaliados em intervalos iniciais de tempo, como no caso da análise por SPME de curta duração (ZABOT *et al.*, 2022; MARCILLO-PARRA *et al.*, 2021). Como consequência, a introdução das misturas sintéticas M1–M4 nesse substrato resulta em maior destaque relativo dos compostos das formulações já no intervalo de 1 hora, conforme observado para 1-heptanol, linalol e (Z)-3-nonen-1-ol.

A presença de quitosana no material adsorvente contendo manga-rosa verde promove um efeito ainda mais evidente de uniformização do perfil de liberação, conforme indicado na Tabela 10, com manutenção consistente de compostos característicos das misturas, especialmente β -mirceno, 1-heptanol e (Z)-3-nonen-1-ol. Esse comportamento está em consonância com a literatura que descreve a quitosana como matriz biopolimérica funcional, capaz de reorganizar os sítios adsorventes por meio de interações intermoleculares, reduzindo a variabilidade imposta pela matriz vegetal e modulando a liberação inicial dos compostos adsorvidos. De acordo com Zabot *et al.* (2022), essa característica confere maior previsibilidade ao perfil de liberação em sistemas baseados em

biopolímeros naturais, especialmente em avaliações de curto prazo, como aquelas realizadas por SPME, sem implicar bloqueio definitivo ou supressão da liberação ao longo do tempo.

Tabela 10. Liberação de compostos voláteis por SPME na manga-rosa verde.

Condição avaliada	Compostos liberados identificados	Possível origem predominante
Pó puro da casca (verde)	β -mirceno; alcoóis leves; hidrocarbonetos lineares	Substrato (manga verde)
Pó + Mistura M1	1-heptanol; β -mirceno; α -pineno	Mistura
Pó + Mistura M2	β -mirceno; traços de monoterpenos	Mistura
Pó + Mistura M3	(Z)-3-nonen-1-ol; β -mirceno	Mistura
Pó + Mistura M4	β -mirceno; canfeno	Mistura
50% pó + 50% quitosana + misturas	β -mirceno; marcadores específicos das misturas; redução do fundo do substrato	Mistura com controle pela quitosana

A comparação direta entre manga rosa madura e verde, sintetizada na Tabela 11, evidencia que o estágio de maturação exerce influência determinante sobre a contribuição do substrato vegetal no perfil de liberação. Enquanto a manga madura apresenta elevada complexidade química e competição inicial entre voláteis do fruto e das misturas, a manga verde atua predominantemente como suporte físico, permitindo maior evidência dos compostos sintéticos no mesmo intervalo temporal. No entanto, a incorporação da quitosana reduz substancialmente essas diferenças, aproximando os perfis de liberação entre os dois estágios fisiológicos.

Tabela 11. Comparação da liberação de compostos voláteis: manga-rosa madura versus verde.

Aspecto comparado	Manga-rosa madura	Manga-rosa verde
Diversidade de compostos do pó puro	Elevada (ésteres, monoterpenos, hidrocarbonetos)	Menor diversidade

Compostos característicos do substrato	(Z)-ocimeno; limoneno; octanoato de etila	β -mirceno; alcoóis leves
Interferência do substrato nas misturas	Maior	Menor
Destaque de compostos da mistura	Parcial, coexistindo com o fundo do fruto	Predominante
Efeito da quitosana (50%)	Modulação e redução do fundo aromático	Padronização e controle da liberação

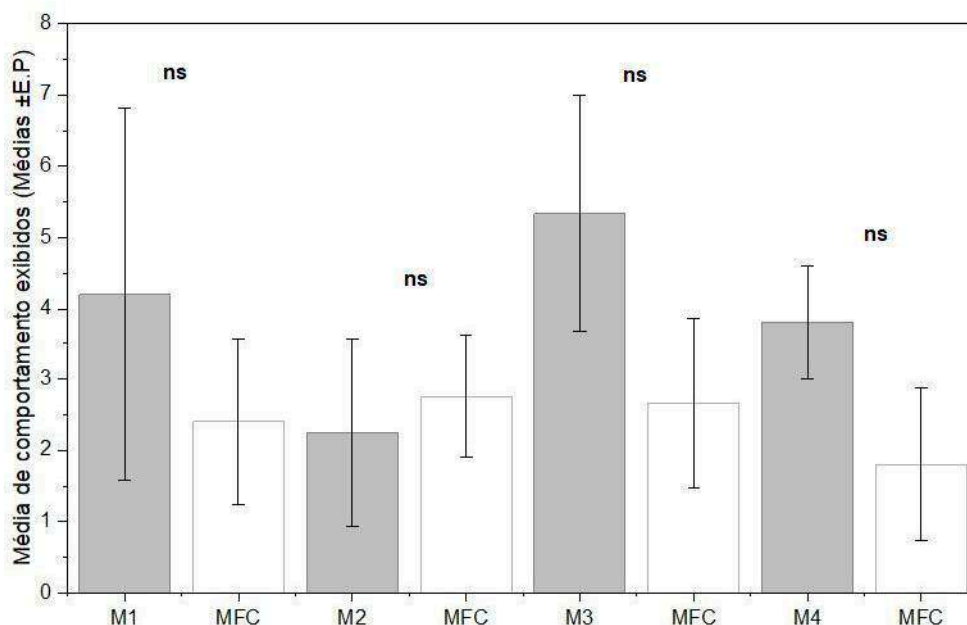
Esses resultados indicam que o material adsorvente proposto não promove exclusão ou bloqueio dos compostos voláteis, mas sim uma liberação diferencial dependente do tempo, da natureza da matriz e da afinidade dos voláteis pelos sítios adsorventes. Esse comportamento é característico de matrizes biopoliméricas e sistemas baseados em materiais naturais, nos quais a liberação ocorre de forma escalonada e modulada por interações físico-químicas específicas, sem supressão definitiva dos compostos adsorvidos (ZABOT *et al.*, 2022; VINCEKOVIĆ *et al.*, 2017).

Considerando que a análise por SPME foi limitada ao intervalo de 1 hora, os dados obtidos representam exclusivamente a fase inicial do processo de liberação, não sendo indicativos do comportamento do sistema em tempos mais longos. Estudos metodológicos demonstram que a SPME reflete a fração prontamente disponível dos compostos voláteis, sendo plausível que constituintes menos evidentes nesse intervalo sejam liberados posteriormente, à medida que o equilíbrio entre a matriz e a fase gasosa se reorganiza ao longo do tempo (FLORES; KONG, 2017).

Em conjunto, os resultados apresentados nas Tabelas 09, 10 e 11 demonstram que a combinação entre resíduo de casca de manga rosa e quitosana constitui um sistema adsorvente versátil, capaz de modular a liberação inicial de semioquímicos de forma controlada. Embora o estágio de maturação do fruto influencie o perfil volátil intrínseco do substrato, esse efeito pode ser parcialmente mitigado pela formulação híbrida com quitosana, que confere maior previsibilidade ao perfil de liberação. Esses achados reforçam o potencial do sistema para aplicações em estratégias de manejo comportamental de insetos, além de evidenciarem a viabilidade do uso de resíduos agroindustriais como matrizes funcionais em tecnologias sustentáveis (MARCILLO-PARRA *et al.*, 2021; ZABOT *et al.*, 2022).

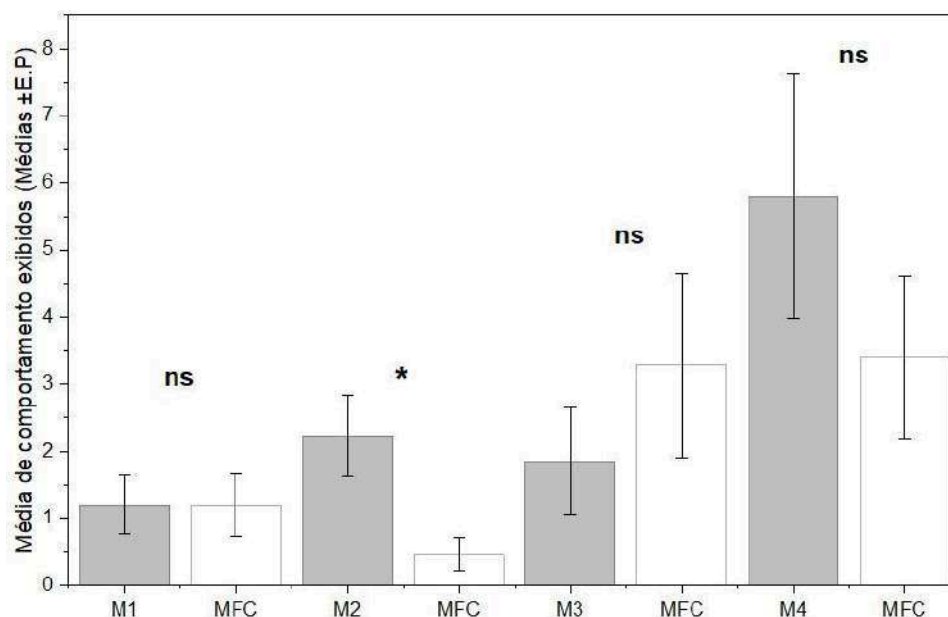
Os resultados obtidos com os bioensaios comportamentais demonstraram que todas as formulações dos compostos (Tabela 06) resultaram nas atratividades conforme a Figura 39 e Figura 40.

Figura 39. Atratividade de fêmeas de *Anastrepha obliqua* em resposta a formulações constituídas por 50% de pó da casca de manga madura e 50% de quitosana, bem como às respectivas misturas avaliadas.



Nota: M1 com α -pineno, β -mirceno, canfeno, sabineno e 1-heptanol; M2 com α -pineno, β -mirceno, canfeno, sabineno e linalol; M3 com α -pineno, β -mirceno, canfeno, sabineno e (Z)-3-nonen-1-ol; e M4 com α -pineno, β -mirceno, canfeno, sabineno e α -farneseno. Diferenças estatisticamente significativas foram indicadas pelo símbolo (*), considerando nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$), enquanto a ausência de diferença estatística significativa foi indicada por "ns", conforme o teste t de Student ($p > 0,05$).

Figura 40. Atratividade de fêmeas de *Anastrepha obliqua* em resposta a formulações constituídas por 50% de pó da casca de manga verde e 50% de quitosana, bem como às respectivas misturas avaliadas.



Nota: M1 com α -pineno, β -mirceno, canfeno, sabineno e 1-heptanol; M2 com α -pineno, β -mirceno, canfeno, sabineno e linalol; M3 com α -pineno, β -mirceno, canfeno, sabineno e (Z)-3-nonen-1-ol; e M4 com α -pineno, β -mirceno, canfeno, sabineno e α -farneseno. Diferenças estatisticamente significativas foram indicadas pelo símbolo (*), considerando nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$), enquanto a ausência de diferença estatística significativa foi indicada por “ns”, conforme o teste t de Student ($p > 0,05$).

Os bioensaios comportamentais realizados com as misturas M1, M2, M3 e M4, formuladas sobre substrato constituído por 50% de quitosana e 50% do pó da casca da manga rosa, permitiram avaliar o efeito combinado da composição química dos semioquímicos e do estágio de maturação do material adsorvente na resposta comportamental de fêmeas de *Anastrepha obliqua*. Estudos anteriores demonstram que a resposta comportamental de moscas-das-frutas está diretamente associada à composição e às proporções específicas dos compostos voláteis emitidos pelos hospedeiros, bem como ao contexto fisiológico do fruto (Malo *et al.*, 2012; Renou *et al.*, 2014).

Para o estágio de maturação maduro, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre nenhuma das misturas testadas e o extrato controle. Esse resultado sugere que, nesse estágio, o extrato da manga madura já apresenta um perfil volátil altamente complexo e atrativo, capaz de eliciar respostas comportamentais máximas, conforme descrito para frutos maduros de hospedeiros preferenciais de *Anastrepha* spp. (Malo *et al.*, 2012; Aluja *et al.*, 2014). Dessa forma, a formulação sintética, mesmo veiculada em um substrato adsorvente, não promove incremento adicional significativo quando comparada ao extrato natural.

Em contraste, no estágio verde, observou-se comportamento diferenciado entre as formulações. As misturas M1, M3 e M4 não apresentaram diferenças estatisticamente significativas em relação aos seus respectivos controles (MFC), indicando que a composição desses blends não foi suficiente para reproduzir o conjunto de sinais químicos necessários para intensificar a atratividade. Resultados semelhantes foram relatados por Renou *et al.* (2014), que destacam que blends incompletos ou com proporções inadequadas de compostos EAD ativos podem resultar em respostas comportamentais reduzidas ou neutras, mesmo quando os compostos individualmente apresentam atividade eletrofisiológica.

Por outro lado, a mistura M2 apresentou diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) em relação ao controle, evidenciando maior média de comportamentos atrativos. Esse desempenho superior pode estar relacionado à presença e à proporção adequada de compostos previamente identificados como EAD ativos em extratos naturais da manga, como α -pineno, β -mirceno e trans- β -ocimeno, os quais já foram associados à atratividade de fêmeas de *A. obliqua* em estudos laboratoriais e de campo (Malo *et al.*, 2012; Aquino, 2019). A coincidência entre os compostos presentes na mistura sintética e aqueles detectados nos extratos naturais reforça a hipótese de reconhecimento químico do hospedeiro pela espécie.

Além disso, o uso do substrato adsorvente composto por quitosana e pó da casca da manga pode ter influenciado positivamente a liberação gradual dos compostos voláteis, aspecto considerado relevante para respostas comportamentais sustentadas (Renou *et al.*, 2014). A literatura aponta que matrizes naturais podem atuar como moduladores da taxa de liberação de semioquímicos, aumentando a estabilidade e a eficiência dos atrativos (Aluja *et al.*, 2014). Dessa forma, os resultados obtidos indicam que a mistura M2 apresenta maior potencial para aplicações futuras em estratégias de monitoramento e manejo comportamental de *A. obliqua*, especialmente quando associada a matrizes adsorventes biodegradáveis e de origem vegetal.

Considerando os resultados das análises descritas anteriormente, observa-se que a caracterização morfológica, espectroscópica, térmica e comportamental das amostras permite uma compreensão integrada do desempenho do pó da casca de manga rosa e de sua associação com a quitosana como matriz adsorvente de semioquímicos. As imagens de MEV evidenciaram que os pós da casca de manga rosa, tanto no estágio verde quanto maduro, apresentam superfícies irregulares e

elevada rugosidade, características que favorecem a adsorção física de compostos voláteis. A incorporação da quitosana resultou em uma matriz mais homogênea, com recobrimento parcial das partículas vegetais, indicando boa compatibilidade estrutural entre os materiais.

As análises por FTIR confirmaram a presença de grupos funcionais polares relevantes, como hidroxilas, carbonilas, aminas e ligações éter, tanto no pó vegetal quanto na quitosana. A manutenção das principais bandas após a incorporação das misturas indica que não houve alteração estrutural significativa dos materiais, sugerindo que as interações entre substrato e semioquímicos ocorrem predominantemente por adsorção física e interações intermoleculares, sem formação de novas ligações covalentes.

Os perfis termogravimétricos demonstraram comportamento térmico semelhante entre as amostras de manga rosa verde e madura, com eventos associados à perda de umidade, degradação de constituintes orgânicos e decomposição de polissacarídeos estruturais. A presença das misturas sintéticas e da quitosana não introduziu novos mecanismos de degradação térmica. As aparentes diferenças visuais entre as curvas resultam da apresentação simultânea de múltiplas amostras em um mesmo gráfico, e não de alterações reais na estabilidade térmica dos materiais.

A análise por SPME evidenciou que o perfil de liberação inicial de voláteis é fortemente influenciado pelo estágio de maturação da manga rosa e pela composição da matriz adsorvente. O pó da casca madura apresentou perfil volátil intrínseco mais complexo, com liberação de ésteres, terpenóides e hidrocarbonetos próprios do fruto, enquanto o pó da casca verde exibiu perfil mais simples, favorecendo a evidência dos compostos provenientes das misturas sintéticas no intervalo inicial de 1 hora. A presença de quitosana promoveu maior padronização da liberação, reduzindo a interferência do substrato vegetal.

Os bioensaios comportamentais corroboraram os resultados físico-químicos, indicando que, no estágio maduro, as misturas não promoveram incremento significativo de atratividade em relação ao extrato natural, enquanto no estágio verde a mistura M2 apresentou desempenho superior, especialmente quando associada à matriz híbrida. Esses resultados evidenciam que a eficiência do material depende da combinação entre estágio de maturação, composição da mistura e natureza da matriz adsorvente.

6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstraram que o uso do material híbrido constituído por quitosana associada ao pó da casca de manga rosa apresentou desempenho superior em relação ao uso do pó vegetal isolado quando o objetivo é modular a liberação inicial de semioquímicos. Embora o pó puro apresentasse elevada capacidade adsorvente, sua composição química intrínseca, especialmente no estágio maduro, pôde interferir na evidência relativa dos compostos adicionados no intervalo inicial avaliado.

A análise comparativa das misturas sintéticas indicou que a mistura M2 se destacou como a formulação mais eficiente entre as avaliadas. Esse desempenho foi particularmente evidente quando a mistura foi veiculada na matriz híbrida contendo pó da casca de manga rosa verde, sugerindo maior compatibilidade entre a composição química do blend e os sinais reconhecidos por fêmeas de *Anastrepha obliqua*.

O estágio de maturação do substrato mostrou-se um fator determinante para o desempenho das formulações. O pó da manga rosa madura, apesar de apresentar perfil volátil intrínseco mais complexo, não favoreceu a diferenciação das misturas sintéticas nos bioensaios, possivelmente devido à competição inicial por sítios adsorventes e à sobreposição de sinais químicos. Em contraste, o pó da manga rosa verde, por apresentar menor complexidade volátil, permitiu maior expressão dos compostos das misturas, especialmente quando associado à quitosana.

A quitosana atuou como elemento regulador do sistema, reorganizando os sítios adsorventes e promovendo maior previsibilidade na liberação inicial dos semioquímicos. Sua presença não comprometeu a estabilidade térmica ou estrutural do material, conforme evidenciado pelas análises de TG e DSC, e contribuiu para reduzir a variabilidade associada ao substrato vegetal, aspecto relevante para aplicações práticas.

Dessa forma, concluiu-se que a combinação entre quitosana, pó da casca de manga rosa verde e a mistura M2 representou a alternativa mais promissora entre as avaliadas. O material desenvolvido apresenta potencial para aplicações futuras em estratégias sustentáveis de manejo comportamental de *A. obliqua*, além de reforçar a viabilidade do aproveitamento de resíduos agroindustriais como matrizes funcionais, conciliando eficiência técnica, inovação e sustentabilidade ambiental.

7. REFERÊNCIAS

ALI, Faraat *et al.* Plant-incorporated protectants. In: NOLLET, Leo M.L.; MIR, Showkat (Ed.). *Biopesticides handbook*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2023.

ALUJA, Martín; MANGAN, Robert L. Fruit fly (Diptera: Tephritidae) host status determination: critical conceptual, methodological, and regulatory considerations. *Annu. Rev. Entomol.*, v. 53, p. 473-502, 2008.

ALVES, Pedro Guilherme; ZANUNCIO, José Cola (Org.). *Novo Manual de Pragas Florestais Brasileiras*. Montes Claros: Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, 2021.

ANDRADE, Robson Carlos de. *Carvões ativados derivados de caroços de manga (Mangifera indica L.) para a captura de CO₂ e compostos orgânicos voláteis (COVs)*. Tese (Doutorado) - Universidade Federal da Bahia, 2018.

ARÃO, Hélio Alberto. *O contributo das ONGs na promoção do desenvolvimento rural em Moçambique: o caso da Congregação da Sagrada Família no Distrito de Maxixe*. 2023. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2023.

ARAUJO, Rosivaldo Cordeiro de *et al.* *Estratégia de transição para agricultura de base ecológica: adubação verde como instrumento no manejo de solo no município de Porto Grande–AP*. Dissertação (Mestrado) - Rio de Janeiro, 2020.

ARAÚJO, J. R. E. S.; GONZAGA, K. S.; SANTOS, J. P. O.; CARTAXO, P. H. A.; OLIVEIRA, G. M.; ARAÚJO, H. M.; SABINO, B. T. S. Espécies de moscas-das-frutas descritas na Paraíba e atrativos utilizados para o manejo. *Scientific Electronic Archives*, v. 14, n. 7, p. 18-24, 2021.

ASSIS, Odilio B. G.; SILVA, Valmir L. da. Caracterização estrutural e da capacidade de absorção de água em filmes finos de quitosana processados em diversas concentrações. *Polímeros*, v. 13, n. 4, p. 223-228, 2003.

AULAR, Jesus; NATALE, William. Nutrição mineral e qualidade do fruto de algumas frutíferas tropicais: goiabeira, mangueira, bananeira e mamoeiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 35, n. 4, p. 1214-1231, 2013.

AZEVEDO, Arlete Colaço; DE LUCENA TABOSA, Jackeline Alves; DE OLIVEIRA, Deranor Gomes. Empresa de fruticultura irrigada do Vale do São Francisco: uma análise sob as metáforas de Morgan. *Revista de Gestão e Secretariado*, v. 15, n. 9, e4271, 2024.

AZEVEDO, E. Quitosana: propriedades e aplicações na agricultura. *Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 7, n. 2, p. 45–52, 2007.

BALDWIN, I. T.; HALITSCHKE, R.; PASCHOLD, A.; VON DAHL, C. C.; PRESTON, C. A. Volatile signaling in plant-plant interactions: “talking trees” in the genomics era. *Science*, v. 311, n. 5762, p. 812-815, 2006.

BARBIERI, Marcela Guastalli. *Explorando o potencial de exportação: um estudo sobre manga, melão e uva no Brasil à luz dos sistemas agroindustriais e meso-instituições*. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 2024.

BARBOSA, Cosme Damião; COSTA, Isabella Maciel; SIMIQUELI, Guilherme Ferreira. Produção e caracterização de fermentado alcoólico de manga a partir de linhagem de levedura isolada de fermento comercial. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 14, p. e432111436339, 2022.

BARONIO, Cléber Antonio. *Eficácia de inseticidas e formulações de iscas tóxicas sobre Ceratitis capitata (Wiedemann, 1824) (Diptera: Tephritidae)*. 2018. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pelotas, 2018.

BARRETO, Milza Costa et al. Impactos socioeconômicos da dispersão da mosca-da-carambola (*Bactrocera carambolae*) à fruticultura nacional. In: SILVA, R. A. da; LEMOS, W. de P.; ZUCCHI, R. A. (Ed.). *Moscas-das-frutas na Amazônia brasileira: diversidade, hospedeiros e inimigos naturais*. Macapá: Embrapa Amapá, 2011.

BATEMAN, M. A. *et al.* Chemical ecology of fruit flies: identification of host volatiles and their role in attraction. *Journal of Applied Entomology*, v. 138, n. 1–2, p. 1–15, 2014.

BATISTA, Jorge Gabriel dos Santos. *Desenvolvimento de matrizes poliméricas biodegradáveis à base de quitosana e possíveis blends como sistemas de liberação controlada de fármacos*. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 2015.

BATISTA, Natanael da Silva. *Biodiversidade de moscas frugíveras (Diptera: Tephritidae e Lonchaeidae) em diferentes regiões do Estado de Alagoas*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas, 2016.

BOTTON, Marcos *et al.* Novas alternativas para o monitoramento e controle de *Anastrepha fraterculus* (Wied., 1830) (Diptera: Tephritidae) na fruticultura de clima temperado. In: *Proceedings do 22º Congresso Brasileiro de Fruticultura*. 2012.

BRAGA-SOBRINHO, R.; MALAVASI, A.; MESQUITA, A. L. M.; OMETO, A. C. F. *Manual operacional para levantamento, detecção, monitoramento e controle de moscas-das-frutas*. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2001.

BRANCO, Elisabete da Silva. *Resistência de genótipos de macieira à mosca-das-frutas *Anastrepha fraterculus* (Wied., 1830) (Diptera: Tephritidae)*. 1998. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 1998.

BRUNO, A. F. *et al.* *Manejo integrado de pragas: princípios ecológicos e aplicações no Brasil*. Londrina: Embrapa Soja, 2021.

CALAZANS, Natalia *et al.* Nanopartículas de quitosana e curcumina: novas estratégias antibióticas contra *E. coli*. In: *Tudo é Ciência: Congresso Brasileiro de Ciências e Conhecimento Multidisciplinar*. 2024.

CALLEGARO, Iara do Carmo. *As culturas alimentares tradicionais e seu papel na manutenção da biodiversidade, da segurança alimentar e do patrimônio cultural e*

genético no território de identidade de Itapetinga–BA, Brasil. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2013.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. *Fundamentals of materials science and engineering: an integrated approach*. 6. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2020.

CAMPANHOLA, Clayton *et al.* *Métodos alternativos de controle fitossanitário*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003.

CAMPOS, Estefânia Vangelie Ramos *et al.* Polysaccharides as safer release systems for agrochemicals. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 35, n. 1, p. 47–66, 2015.

CARDOSO, Tais Dalla Nora. *Toxicidade letal e subletal de pesticidas utilizados na fruticultura sobre o parasitoide da mosca-do-mediterrâneo Diachasmimorpha longicaudata (Hymenoptera: Braconidae)*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pelotas, 2021.

CARVALHO JÚNIOR, José Eduardo Vasconcelos de. *Diversidade e seleção de híbridos de mangueira no semiárido do Brasil*. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2019.

CÉLINO, Amandine *et al.* Qualitative and quantitative assessment of water sorption in natural fibres using ATR-FTIR spectroscopy. *Carbohydrate Polymers*, v. 101, p. 163–170, 2014.

COCOZZA, Fabio Del Monte. *Maturação e conservação de manga “Tommy Atkins” submetida à aplicação pós-colheita de 1-metilciclopropeno*. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, 2003.

COLGLAZIER, William. Sustainable development agenda: 2030. *Science*, v. 349, n. 6252, p. 1048–1050, 2015.

CORREIA, A. F. Aplicações da microextração em fase sólida (SPME) na análise de compostos voláteis. *Revista Brasileira de Química*, v. 34, n. 2, p. 45–52, 2021.

CORREIA, Lorena Araujo Peixoto *et al.* *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 (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, 2021.

CORREIA, Paulo Romano Cruz *et al.* *Desenvolvimento de sistemas biocompósitos baseados em polímeros biodegradáveis para liberação controlada do feromônio rincoforol.* Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Bahia, 2021.

COSTA, Ana Gabriela Cavalcante Pereira Santos; DA SILVA VIEIRA, Jânio Pedro; DE LIMA ROCHA, Janyne Joyce. *Experimentos com armadilha McPhail e atrativos para moscas-das-frutas em cultura de anonácea (Annona muricata L.).* *Revista Ciência Agrícola*, v. 20, n. especial, p. e14577, 2022.

COSTA, Laila Heringer. *Avaliação de infoquímicos presentes em ovos e larvas de Aedes (Stegomyia) aegypti (Linnaeus, 1762) (Diptera: Culicidae) como atraentes e/ou estimulantes de oviposição para fêmeas coespecíficas.* Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

DA SILVA, André Felipe Gouveia *et al.* *Potencial dos bioinsumos para a agricultura sustentável: uma análise a partir de suas características, conceitos e vantagens.* *Revista Mirante*, v. 17, n. 2, p. 250–265, 2024.

DA SILVA FERREIRA, Wevilaine Aparecida; DUARTE, Ana Paula; ALVES, Alex Marquiti. *Reaproveitamento da casca seca de café para produção de vinagre como produto fitoterapêutico.* *Desenvolvimento, Tecnologia & Meio Ambiente*, 2023.

DA SILVA, Raquel Januário *et al.* *Avaliação de revestimentos biodegradáveis durante o armazenamento de manga rosa produzida na região de Currais Novos–RN.* *RECIMA21 – Revista Científica Multidisciplinar*, v. 4, n. 2, p. e422768, 2023.

DA SILVA SALUSTINO, Angélica *et al.* Biological control of fruit flies: bibliometric analysis on the main biocontrol agents. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 1, p. e22510111245, 2021.

DE ALMEIDA, Bianca Mendes. *Respostas comportamentais das fêmeas à corte dos machos das espécies Anastrepha fraterculus, Anastrepha obliqua e Ceratitis capitata (Diptera: Tephritidae)*. 2023. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Bahia, 2023.

DE ALMEIDA, Luciano Brasil Martins *et al.* Diversity of fruit flies (Diptera: Tephritoidea) and their host plants in a conservation unit from midwestern Brazil. *Florida Entomologist*, v. 102, n. 3, p. 562–570, 2019.

DE AQUINO, Leonardo Angelo; DOS SANTOS, Carlos Eduardo Magalhães; BORÉM, Aluizio (Ed.). *Agronomia: profissão do presente e do futuro*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2022.

DE AQUINO, Nathaly Costa de. *Extração e identificação de compostos voláteis atraentes para fêmeas de Anastrepha obliqua (Diptera: Tephritidae)*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Alagoas, 2019.

DE ARAÚJO, Heloisa Martins *et al.* Uso de semioquímicos no controle de lepidópteros. *Scientific Electronic Archives*, v. 14, n. 12, 2021.

DE CASTRO, Luis Antônio Suita. *Instruções para plantio de mudas de batata-doce com alta sanidade*. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010.

DE JESUS, Ana Beatriz Mendes; SANTOS, Tereza Simonne Mascarenhas. Bioadsorventes de biomassa vegetal: uma revisão sistemática com foco na utilização dos resíduos da manga. *Anais dos Seminários de Iniciação Científica*, n. 25, 2021.

DE JESUS, Ana Beatriz Mendes; SANTOS, Tereza Simonne Mascarenhas. Avaliação do potencial de bioadsorventes de resíduos da manga na remoção do fosfato. *Anais dos Seminários de Iniciação Científica*, n. 26, 2022.

DEL FIORI, Diogo *et al.* Análise da competitividade brasileira no mercado mundial de limão e lima ácida e de seus principais competidores no mercado mundial. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 63, p. e287274, 2025.

DELFINO, Angladis Vieira *et al.* *Avaliação de materiais à base de quitosana para uso como liberadores de compostos bioativos voláteis*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Alagoas, 2018.

DE LIMA SANTOS, Denilson *et al.* Contribuições para o monitoramento e o manejo de moscas-das-frutas em pomares rurais no município de Areia (Paraíba). *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v. 11, n. 2, 2023.

DE LUCENA, Manoel Alexandre; DE SOUSA, Eliane Pinheiro; CORONEL, Daniel Arruda. Desempenho dos principais estados brasileiros exportadores de frutas no comércio internacional: a região Nordeste é eficiente? *Revista Econômica do Nordeste*, v. 54, n. 1, p. 158–177, 2023.

DE MELO ALVES, Felipe. A alteração de requisitos fitossanitários brasileiros de importação aprovados no âmbito do MERCOSUL: um dilema entre segurança jurídica e responsabilidade no comércio internacional agropecuário. *Caderno Virtual*, v. 2, n. 51, 2021.

DE MELO, I. S. *et al.* Bioprospecção de microrganismos com potencial de uso na agricultura. In: MORANDI, M. A. B. *et al.* (Org.). *Bioinputs and bioenergy: research's contributions to Brazil's transition to a green economy*. Brasília: Embrapa, 2024.

DE MORAES, Bruno Figueiredo; DE ALBUQUERQUE, Nathanny Sousa; SAYD, Ricardo Meneses. Manejo integrado de pragas na cultura do tomate no Distrito Federal. *Repositório Institucional*, v. 3, n. 1, 2024.

DE SOUZA JUNIOR, Fernando Gomes *et al.* Conducting and magnetic mango fibers. *Industrial Crops and Products*, v. 68, p. 97–104, 2015.

DIAS, Cristiane Ida Trampusch Rodrigues. *Incorporação e implicações do uso de agrotóxicos no ambiente e na saúde e a possibilidade de transição agroecológica. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017.*

DIAS, J. M. C. de S. *et al.* *Laboratórios da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia*. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2007.

DIONÍSIO, K. L. *et al.* Exploring consumer exposure pathways and patterns of use for chemicals in the environment. *Toxicology Reports*, v. 2, p. 228–237, 2015.

DOS SANTOS FILHO, João Cancio; DOS SANTOS, Elba Medeiros Punski. O comércio institucional e a agricultura familiar agroecológica no desenvolvimento do município de Dom Macedo Costa/BA. *Estudos Geográficos*, v. 21, n. 1, p. 1–16, 2023.

DUTRA, Vivian de Siqueira. *Caracterização de ovos e larvas de espécies de Anastrepha (Diptera: Tephritidae) utilizando análises morfológicas e moleculares*. Tese (Doutorado) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2012.

EL HADI, M. A. M.; ZHANG, F.-J.; WU, F.-F.; ZHOU, C.-H.; TAO, J. Advances in fruit aroma volatile research. *Food Chemistry*, v. 141, n. 2, p. 823–836, 2013.

FAQUIN, Valdemar. *Nutrição mineral de plantas*. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 186 p.

FAZENDA, Lucídio Henriques Vote. *Avaliação do impacto da mosca-das-frutas (Diptera: Tephritidae) na produção de piri-piri (Capsicum frutescens): caso da companhia de Vandúzi, província de Manica, distrito de Manica*. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação) – Universidade Eduardo Mondlane, 2014.

FERNANDES, Daniell Rodrigo Rodrigues *et al.* First report of *Anastrepha obliqua* (Macquart) and *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) and the parasitoid *Doryctobracon areolatus* (Szépligeti) (Hymenoptera: Braconidae) in the oceanic archipelago of Fernando de Noronha, Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia*, v. 65, n. 4, p. e20210114, 2021.

FERREIRA, Patricia Garcia *et al.* Nicotina e a origem dos neonicotinoides: problemas ou soluções? *Revista Virtual de Química*, v. 14, n. 3, 2022.

FLORES, F. P.; KONG, F. Diffusion and release mechanisms of bioactive compounds from food matrices. *Annual Review of Food Science and Technology*, v de. 8, p. 237–259, 2017.

FREIRE, Antonio Emilio; BEBER, Andriei. *Global*. 2024.

GARCÍA, Yesenia Mendoza *et al.* Extração e análise de compostos orgânicos voláteis por SPME-HS e GC-MS: um breve referencial teórico. In: MELO, J. O. F. (org.). *Ciências agrárias: o avanço da ciência no Brasil*. Guarujá: Editora Científica, 2021. v. 1.

GENRO JUNIOR, Silvio Aymone *et al.* Atributos físicos de um Latossolo Vermelho e produtividade de culturas cultivadas em sucessão e rotação. *Ciência Rural*, v. 39, p. 65–73, 2009.

GHARIB, Hassen Hassan *et al.* *Análise in silico de genes de toxinas inseticidas em cepas de Bacillus thuringiensis*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Uberlândia, 2024.

GHILARDI, Sandra Cristina Gregory. *A globalização e o comércio internacional*. Curitiba: Appris, 2024.

GUIBAL, E. Interactions of chitosan with metal ions and dyes: mechanisms and applications. *Progress in Polymer Science*, v. 30, n. 2–3, p. 107–132, 2005.

GOBIRA, Rubens Menezes. *Utilização de leveduras naturalmente ocorrentes na biotransformação de açúcares fermentescíveis de frutos amazônicos aplicadas na produção de aguardente*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, 2021.

GONÇALVES, Gláucia Barreto. *Influência dos constituintes voláteis dos hospedeiros Averrhoa carambola L. e Mangifera indica L. na composição química das*

substâncias liberadas por machos de Anastrepha obliqua e Ceratitis capitata (Diptera: Tephritidae). 2001. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas, 2001.

GONÇALVES, Gláucia B. *et al.* Pheromone communication in *Anastrepha obliqua* (Diptera: Tephritidae): a comparison of the volatiles and salivary gland extracts of two wild populations. *Florida Entomologist*, v. 96, n. 4, p. 1365–1374, 2013.

GOULART, Henrique Fonseca *et al.* *Desenvolvimento de feromônios para controle de pragas: novos caminhos de síntese, formulação, imobilização e liberação controlada*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Alagoas, 2012.

GOULART, M. A. Estratégias de liberação controlada de semioquímicos na agricultura. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 9, n. 3, p. 112–119, 2012.

HASSANALI, Ahmed *et al.* Integrated pest management: the push–pull approach for controlling insect pests and weeds of cereals and its potential for other agricultural systems including animal husbandry. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, v. 363, n. 1491, p. 611–621, 2008.

HASSANI, L. N.; HENDRA, F.; BOUCHEMAL, K. Auto-associative amphiphilic polysaccharides as drug delivery systems. *Drug Discovery Today*, v. 17, p. 608–614, 2012.

HIZUKURI, Bruna Yukimi Barboza *et al.* *Análise e controle microbiológicos de alimentos perecíveis para exportação*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), 2022.

HU, X. P.; SHASHA, B. S.; MCGUIRE, M. R.; PROKOPY, R. J. Controlled release of sugar and toxicant from a novel device for controlling pest insects. *Journal of Controlled Release*, v. 50, p. 257–265, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Estimativas da população residente no Brasil*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao.html>. Acesso em: 5 maio 2025.

KOGAN, M. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. *Annual Review of Entomology*, v. 43, p. 243–270, 1998.

KUMAR, Majeti N. V. Ravi. A review of chitin and chitosan applications. *Reactive and Functional Polymers*, v. 46, n. 1, p. 1–27, 2000.

K. S. *Dinâmica populacional de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) e parasitoides em pomares domésticos nos municípios de Bananeiras e Borborema – PB*. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal da Paraíba, 2017.

LADE, B. D. *et al.* Nanobiopesticide formulations: application strategies today and future perspectives. In: *Nano-Biopesticides Today and Future Perspectives*. Academic Press, 2019. Cap. 7, p. 179-206.

LANDOLT, P. J.; HEATH, R. R.; CHAMBERS, D. L. Oriented flight responses of female Mediterranean fruit flies to calling males, odor of calling males, and a synthetic pheromone blend. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, v. 65, n. 3, p. 259-266, 1992.

LANDOLT, P. J.; PHILLIPS, T. W. Host plant influences on sex pheromone behavior of phytophagous insects. *Annual Review of Entomology*, v. 42, p. 371–391, 1997.

LASA, R.; WILLIAMS, T. Addition of ammonium acetate to protein-borax baited traps does not improve attraction of *Anastrepha obliqua* or *Anastrepha serpentina* (Diptera: Tephritidae). *Journal of Insect Science*, v. 21, n. 6, p. 13, 2021.

LIMA, I. S.; HOUSE, P. E.; NASCIMENTO, R. R. Volatile substances from male *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae): identification and behavioural activity. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 12, n. 2, p. 196-201, 2001.

LIMA, Valesca Henrique *et al.* Utilização do alomônio (*E*)-2-octenal em humanos como repelente para carrapatos do gênero *Amblyomma*: um teste de campo. In: SIMPÓSIO DE CONTROLE BIOLÓGICO, 2023.

LIMA-MENDONÇA, A. D. Compostos voláteis em plantas hospedeiras de moscas-das-frutas. *Revista Brasileira de Entomologia*, v. 58, n. 3, p. 210–217, 2014.

LIMA-MENDONÇA, A. *et al.* Semioquímicos de moscas-das-frutas do gênero *Anastrepha*. *Química Nova*, v. 37, p. 293-301, 2014.

LIRA, F. R. *Síntese de um eletrólito polimérico sólido em forma de membrana autossustentável – alginato de sódio e perclorato de lítio*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2020.

LOPES, J.; PINTO, J.; RODRIGUES, M. A. Condução e poda. In: Manual da Safra e Contra-Safra do Olival. Oeiras: INIAV, 2009.

LOUZEIRO, Léo Rodrigo Ferreira. *Estudo da relação entre insetos e frutas hospedeiras: o caso das moscas polífagas *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann) e *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) em citros*. Dissertação (Mestrado) – Instituto Biológico, 2022.

MACHADO, M. L. Q. *Síntese e caracterização de biofilme à base de quitosana e glicerol para aplicação em embalagens de alimentos*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pampa, 2021.

MALO, E. A. *et al.* Electrophysiological and behavioral responses of *Anastrepha obliqua* to mango volatiles. *Journal of Chemical Ecology*, v. 38, p. 1413–1421, 2012.

MARCILLO-PARRA, V. *et al.* Agro-industrial by-products as matrices for encapsulation and controlled release of bioactive compounds. *Trends in Food Science & Technology*, v. 116, p. 11–23, 2021.

MARTINS, M. M. V.; BISPO, S. Q. A.; NONNENBERG, M. J. B. Normas Voluntárias de Sustentabilidade (NVS) e implicações sobre as exportações de produtos do agronegócio: frutas. *Texto para Discussão*, Brasília, 2023.

MATOS, J. R. Determinação da curva de aquecimento – DTA e calorimetria exploratória diferencial (DSC). Laboratório de Análise Térmica, 2017.

MELLO, F. H. O crescimento agrícola brasileiro dos anos 80 e as perspectivas para os anos 90. *Brazilian Journal of Political Economy*, v. 10, n. 3, p. 327-335, 1990.

MELO, R. S. A. *Desenvolvimento de uma matriz para liberação controlada do óleo essencial de aroeira (Schinus terebinthifolius Raddi)*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas, 2019.

MENESES, A. T. *et al.* Estudo de liberação do rincoforol adsorvido em carvão ativado do endocarpo do coco de dendê. *Diversitas Journal*, v. 6, n. 2, p. 2421-2436, 2021.

MIZOBATA, A. A. *Caracterização e estudo termogravimétrico da pirólise e da combustão da casca de pinhão visando seu aproveitamento energético*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2022.

MONTEFERRANTE, E. C.; MIRANDA, S. H. G. Redes socioeconômicas aplicadas à avaliação de risco de entrada de pragas via importação de frutas no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 62, n. 4, p. e280030, 2024.

MOREIRA, A. C. G. *Microencapsulação de óleos essenciais*. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Porto, 2014.

MOREIRA, G. F. *et al.* Aplicação da calorimetria exploratória diferencial (DSC) para determinação da pureza de fármacos. *Produto & Produção*, v. 11, n. 1, p. 22-29, 2010.

MOSCAMED. *Linhas de ação*. 2019. Disponível em: <http://moscamed.org.br/linhas-de-acao>. Acesso em: 15 fev. 2025.

MUNDO, Transformando Nosso. *A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. 2016. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>. Acesso em: 27 fev. 2026.

NAIR, R. *et al.* Nanoparticulate material delivery to plants. *Plant Science*, v. 179, p. 154–163, 2010.

NARANJO, S. E.; ELLSWORTH, P. C.; FRISVOLD, G. B. Economic value of biological control in integrated pest management of managed plant systems. *Annual Review of Entomology*, v. 60, n. 1, p. 621-645, 2015.

NASCIMENTO, M. H. M.; LOMBELLO, C. B. Hidrogéis à base de ácido hialurônico e quitosana para engenharia de tecido cartilaginoso. *Polímeros*, v. 26, p. 360-370, 2016.

NELSON, M. E.; ALVES, A. P. Plant incorporated protectants and insect resistance. In: *Insect Resistance Management*. Academic Press, 2014. p. 99-147.

NERI-BADANG, M. C.; CHAKRABORTY, S. Carbohydrate polymers as controlled release devices for pesticides. *Journal of Carbohydrate Chemistry*, 2019.

NEVES, M. F. *The Future of Food Business: the facts, the impacts and the acts*. 2. ed. New Jersey: World Scientific, 2014.

NICOLOPOULOU-STAMATI, P. *et al.* Chemical pesticides and human health: the urgent need for a new concept in agriculture. *Frontiers in Public Health*, v. 4, p. 1–8, 2016.

NISHIDA, R. *et al.* Accumulation of phenylpropanoids in the rectal glands of males of the oriental fruit fly, *Dacus dorsalis*. *Experientia*, v. 44, p. 534–536, 1988.

OLIVEIRA, G. A. *Cadeia produtiva da manga no município de Ipanguaçu, no estado do Rio Grande do Norte*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022.

OLIVEIRA, L. A. *A importância das normas internacionais para o comércio da fruticultura brasileira*. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 2005.

OLIVEIRA, J. M. A. *Extração assistida por ultrassom e micro-ondas dos compostos bioativos do bagaço e cascas de manga (Mangifera indica): caracterização química e avaliação antioxidante*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Sergipe, 2023.

ONU BRASIL. *Situação da população mundial 2023: 8 bilhões de vidas, infinitas possibilidades*. Disponível em: <https://brasil.un.org/>. Acesso em: 5 maio 2025.

PARANHOS, Beatriz Aguiar Giordano; COSTA-LIMA, Tiago Cardoso da; GAMA, Farah de Castro. *Controle de moscas-das-frutas no Vale do São Francisco*. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2013.

PAULI, G. *et al* Evaluation of the potential of SPME-GC-MS and chemometrics to detect adulteration of ground roasted coffee with roasted barley. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 22, n. 3, p. 257–261, 2006. PEREIRA, Dias Maik. *A importância dos certificados fitossanitários no cultivo e manejo da cultura de citrus*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, 2021.

PICANÇO, M. C.; GONRING, A. H. R.; OLIVEIRA, I. R. *Manejo integrado de pragas*. Viçosa: UFV, 2010.

PICANÇO, M. C. *et al*. Impactos financeiros da adoção de manejo integrado de pragas na cultura do tomateiro. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 26, n. 2, p. 245-252, 2008.

PINHEIRO, Brenda Bedoya. *Ecocídio e direito animal: desafios legais, ambientais e éticos na indústria agropecuária*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Centro de Ciências Jurídicas e Sociais, Unidade Acadêmica de Direito, Universidade Federal de Campina Grande, 2023.

PINHEIRO, F. A.; BARROS, A. V.; PINHEIRO, S. *Processos de certificação para exportação de frutas frescas brasileiras*. In: *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 29., 2009, Bahia.

PINO, J. A.; QUERIS, O. Aroma-active compounds in tropical fruits. *Food Chemistry*, v. 125, n. 2, p. 488–499, 2011.

PINTO, D. S. C. *Desenvolvimento de metodologias para caracterização de aditivos e materiais funcionalizados para liberação de agentes ativos*. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Minho, 2023.

POLETTO, Tales; MUNIZ, Marlove F. Brião; POLETTO, Igor; STEFENON, Valdir M. *Nogueira-pecã: identificação e manejo de doenças*. Santa Maria: Ed. UFSM, 2022.

POMINI, Armando Mateus. *Semioquímicos produzidos por bactérias fitopatogênicas e opiliões brasileiros*. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, 2006.

QUINTAM, C. P. R.; ASSUNÇÃO, G. M. Perspectivas e desafios do agronegócio brasileiro frente ao mercado internacional. *RECIMA21*, v. 4, n. 7, p. e473641, 2023.

QUIRINO, T. S. *Manejo de pragas e doenças na cultura da melancia*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pelotas, 2022.

RAGA, Adalton; MACHADO, Rogério Amaro; DINARDO, Welci; STRIKIS, Pedro Carlos. *Eficácia de atrativos alimentares na captura de moscas-das-frutas em pomar de citros*. *Bragantia*, Campinas, v. 65, n. 3, p. 337-345, 2006.

REDDY, G. V. P.; GUERRERO, A. Interactions of insect pheromones and plant semiochemicals. *Trends in Plant Science*, v. 9, n. 5, p. 253-261, 2004.

REIS, C. B. L. et al. *Produção de quitinases e biossurfactantes fúngicos por processos fermentativos*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2017.

REIS, Luciana Paula. *Um modelo para o gerenciamento de informações no processo de planejamento tecnológico aplicado a um spinoff do setor de biotecnologia*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

RENOU, M.; ANTON, S. Insect olfactory communication in a complex and changing world. *Current Opinion in Insect Science*, v. 6, p. 1–7, 2014.

RICARDINO, Isadora Ellen Feitoza; SOUZA, Maria Nathalya Costa; SILVA NETO, Irineu Ferreira da. *Vantagens e possibilidades do reaproveitamento de resíduos agroindustriais*. *Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente*, Rio de Janeiro, v. 1, n. 8, p. 55-79, 2020.

RIFFEL, Alessandro; COSTA, João Gomes da. *Os voláteis de plantas e o seu potencial para a agricultura*. Aracaju, 2015.

RINAUDO, M. Chitin and chitosan: properties and applications. *Progress in Polymer Science*, v. 31, n. 7, p. 603-632, 2006.

RODRIGUES, Sandra Maria Morais; MIRANDA, José Ednilson. Métodos usados no manejo integrado do bicudo-do-algodoeiro: controle etológico do bicudo-do-algodoeiro. In: BELOT, Jean Louis (Org.). *O bicudo do algodoeiro (Anthonomus grandis BOH., 1843) nos cerrados brasileiros: biologia e medidas de controle*. Instituto Mato-Grossense do Algodão, 2015.

ROSA, Cassia Inês Lourenzi Franco *et al.* Pós-colheita e comercialização. In: BRANDÃO FILHO, José Usan Torres *et al.* (Org.). *Hortaliças-fruto*. Maringá: EDUEM, 2018

SANCHES, Juliana. *Qualidade pós-colheita de banana 'Nanicão' (Musa cavendishii), através da classificação de defeitos físicos, embalagens e tecnologia do frio*. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2002.

SANTANA, João Vitor Ferro. *Efeitos econômicos da fruticultura irrigada no Nordeste*. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Escola Direito, Negócios e Economia, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2023.

SANTOS, Eduardo Felipe da Silva. *Gradientes de mudanças fisiológicas na maturação, compostos bioativos e conservação pós-colheita em abacaxi 'Pérola' parcialmente recobertos*. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, 2020.

SANTOS, J. C. G. *Avaliação de novos materiais liberadores para compostos voláteis atraentes para moscas-das-frutas*. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Alagoas, 2022.

SANTOS, J. M. *Levantamento populacional de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae), seus parasitoides e hospedeiros em cultivo orgânico e convencional em Maceió, AL*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas, 2012.

SANTOS JUNIOR, R. A. *Impacto ambiental gerado por microplásticos têxteis*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2023.

SANTOS, L. C. O. *Utilização de agentes botânicos para o controle de Cimex lectularius*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2023.

SANTOS MURGAS, A. *et al.* Oviposición de *Anastrepha obliqua* sobre frutos de *Spondias purpurea*. *Manglar*, v. 19, n. 3, p. 257-261, 2022.

SANTOS, R. T. Estudo da liberação controlada de feromônios utilizando septo de borracha. *Revista Brasileira de Entomologia*, v. 64, n. 1, p. 78–85, 2020.

SEGATO, M. P. *Estudos termoanalíticos do ácido algínico e dos alginatos de metais alcalinos, alcalino-terrosos e amônio*. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, 2007.

SHELLY, T. E. Capture of *Bactrocera* fruit flies in traps baited with liquid versus solid formulations of male lures. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, v. 14, p. 463–467, 2001.

SILVA, Carlos Eduardo da. *Identificação dos constituintes químicos do feromônio sexual de populações de Anastrepha fraterculus (DIPTERA: TEPHRITIDAE) e de seu fruto hospedeiro preferencial, Goiaba - Psidium guajava (Myrtaceae)*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Alagoas, 2017.

SILVA, Claudinete dos Santos. *Influência dos compostos voláteis comuns ao feromônio sexual e aos frutos hospedeiros no comportamento reprodutivo de machos de Anastrepha obliqua (Diptera: Tephritidae)*. Tese (Doutorado) – Instituto de Química e Biotecnologia, Universidade Federal de Alagoas, 2022.

SILVA, Gabriela de Moraes. *Controle de qualidade em pós-colheita na importadora de mangas norte-americana Amazon Produce Network*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, 2015

SILVA, Otávio Gomes da. *Hidroxiapatita mesoporosa pura e modificada organicamente com grupos nitrogenados: síntese, caracterização e uso como carreadora de fármacos*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba, 2010.

SILVA, Márcio Alves. *Avaliação do potencial inseticida de Azadirachta indica (Meliaceae) visando ao controle de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae)*. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, 2010.

SILVA, Neiton Carlos da. *Uso de metodologias alternativas na secagem de diferentes materiais visando à preservação de compostos bioativos*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Uberlândia, 2019.

SILVA, R. F. *et al.* Estratégias sustentáveis no controle de pragas agrícolas. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 15, n. 2, p. 120–135, 2020.

SILVA, Raimundo Ivan Remígio. *Diversidade de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) e seus hospedeiros na região do baixo Jaguaribe, Ceará*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2014.

SILVA, Saulo Vitor. *Estudo de compatibilidade e estabilidade térmica da própolis vermelha associada a diferentes excipientes na obtenção de membranas poliméricas*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2023.

SILVA, Tauany Nataly Chagas. *O potencial da comercialização de frutas brasileiras no mercado externo: uma revisão*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Federal Goiano, 2022.

SILVA, W. D. et al. Electrophysiological and behavioral responses of *Anastrepha obliqua* to host fruit volatiles. *Neotropical Entomology*, v. 34, n. 3, p. 393–402, 2005.

SILVA, W. D. et al. Semioquímicos associados a *Anastrepha obliqua*. *Neotropical Entomology*, v. 34, n. 4, p. 601–610, 2005.

SINGH, A. et al. Advances in controlled release pesticide formulations. *Journal of Hazardous Materials*, v. 385, 2020.

SINGH, S. P.; PAL, R. K. Controlled atmosphere storage of guava. *Postharvest Biology and Technology*, v. 47, p. 296-306, 2008.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. *Principles of Instrumental Analysis*. 7. ed. Boston: Cengage Learning, 2018.

SOBRINHO, R. B.; MALAVASI, A.; OMETO, A. C. F. Manual operacional para levantamento, detecção, monitoramento e controle de moscas-das-frutas. *Embrapa Agroindústria Tropical*, 2001.

SOSA-GÓMEZ, Daniel Ricardo et al. *Manual de identificação de insetos e outros invertebrados da cultura da soja*. 4. ed. atualizada. Londrina: Embrapa Soja, 2023

SOUSA, Ester Marques de. *Avaliação dos parâmetros morfométricos da asa de Ceratitis capitata (Wiedemann, 1824) para detecção automática em armadilhas inteligentes*. 2023. Tese (Doutorado) – São Paulo, 2023.

SOUSA, Nayana Rodrigues de. *Biodiversidade e nível de infestação das moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) na mesorregião do Agreste paraibano*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, 2023.

SOUZA FILHO, M. F. *Biodiversidade de moscas-das-frutas e seus parasitoides em plantas hospedeiras no Estado de São Paulo*. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 1999.

SOUZA JR., F. G. *et al.* Natural Brazilian amazonic (Curauá) fibers modified with polyaniline nanoparticles. *Macromolecular Materials and Engineering*, v. 294, n. 8, p. 484-491, 2009.

SOUZA, Maria Itala Alves de. *Caracterização morfológica dos estágios imaturos de Tetrastichus giffardianus (Hymenoptera: Eulophidae) parasitoide de Ceratitis capitata (Diptera: Tephritidae)*. Monografia (Especialização) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2017.

STROPARO, T. R.; HRYCYNA, H. M. *Ecoinovação, inteligência artificial e internet das coisas na cadeia de valor do mel e da erva-mate*. In: *Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia*, 2024.

SUAVE, J. *et al.* Microencapsulação: inovação em diferentes áreas. *Revista Saúde e Ambiente*, v. 7, n. 2, p. 12-20, 2006.

TAVARES, Raphael de Farias. *Semioquímicos da mosca do mediterrâneo Ceratitis capitata (Diptera: Tephritidae)*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Alagoas, 2020.

TEFFT, J.; FRIEND, D. R. Controlled release herbicide formulations based on polymeric microspheres. *Journal of Controlled Release*, v. 27, p. 27–35, 1993.

TEIXEIRA, Cristiano Machado *et al.* Potential global distribution of the South American cucurbit fruit fly *Anastrepha grandis* (Diptera: Tephritidae). *Crop Protection*, v. 145, p. 105647, 2021.

THOMAZINI, Marcílio J.; ALBUQUERQUE, Elizângela S.; SOUZA FILHO, Miguel F. Primeiro registro de espécies de *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) no estado do Acre. *Neotropical Entomology*, v. 32, p. 723–724, 2003.

THOMAZINI, Marcílio José; BERGO, C. L. Danos de *Herminodes sp.* (Lepidoptera: Noctuidae) em plantio de pupunha no município de Rio Branco, AC. 2004. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 19., 2004.

TINOCO, Tatiane José; SILVA, Priscila Loire da; ROCHA, Ana Paula Soares da. Manejo integrado de pragas e doenças em sistemas agrícolas. *Revista Contemporânea*, v. 3, n. 11, p. 22675–22697, 2023.

TORRES, Carlos Alberto Souza. *Diversidade de espécies de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) e de seus parasitóides em cafeeiro (Coffea arabica L.)*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2004.

UNITED NATIONS. *World Population Prospects 2022: population reaches 8 billion*. Nova Iorque: United Nations, 2022. Disponível em: <https://www.un.org/en/desa/world-population-projected-reach-98-billion-2050-and-112-billion-2100>. Acesso em: 15 set. 2025.

URAMOTO, Keiko. *Biodiversidade de moscas-das-frutas do gênero Anastrepha (Diptera: Tephritidae) no campus Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo*. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 2002.

VALADARES, Gabriele Moreira; LANDAU, Elena Charlotte. Evolução da produção de manga (*Mangifera indica*, Anacardiaceae). In: LANDAU, Elena Charlotte (Org.). *Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas*. Brasília, DF: Embrapa, 2020.

VIDAL, Maria de Fátima. *Agropecuária: fruticultura*. Caderno Setorial ETENE, Fortaleza, v. 8, n. 280, mai. 2023.

VIEIRA, Adriana Carvalho Pinto. *Instituições e segurança dos alimentos: construindo uma nova institucionalidade*. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, 2009.

VIEIRA, Roberto Fontes *et al.* (Ed.). *Frutas nativas da região Centro-Oeste do Brasil*. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia: Embrapa Informação Tecnológica, 2006 (reimpr. 2010).

VILELA, Evaldo Ferreira; MAFRA-NETO, Agenor. Registro de feromônios comerciais e legislação. In: VILELA, Evaldo Ferreira; DELLA LUCIA, Terezinha Maria Castro (Org.). *Feromônios de insetos: biologia, química e emprego no manejo de pragas*. 2. ed. Ribeirão Preto: Holos, 2001.

VILLANOVA, Janaina C. O.; ORÉFICE, Rodrigo L.; CUNHA, Armando S. Aplicações farmacêuticas de polímeros. *Polímeros*, v. 20, p. 51–64, 2010.

VINCEKOVIĆ, M. *et al.* Design and development of controlled release systems for agricultural applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 65, n. 45, p. 9608–9617, 2017.

VITTI, A. *Análise da competitividade das exportações brasileiras de frutas selecionadas no mercado internacional*. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, 2009.

XIE, H. *et al.* Controlled release formulations of spirotetramat using chitosan-alginate-amidohydrogel composites. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 68, n. 12, p. 3625–3634, 2020.

XIMENES, Luciano Feijão. Lácteos. *Caderno Setorial ETENE*, v. 6, n. 181, 2021.

YASMEEN, Shahida *et al.* Chromium (VI) ions removal from tannery effluent using chitosan-microcrystalline cellulose composite as adsorbent. *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*, v. 10, n. 4, p. 1–14, 2016.

ZABOT, Giovani Leone *et al.* Encapsulation of bioactive compounds for food and agricultural applications. *Polymers*, v. 13, n. 3, art. 376, 2021.

ZARBIN, Paulo H. G.; RODRIGUES, Mauro A. C. M.; LIMA, Eraldo R. Feromônios de insetos: tecnologia e desafios para uma agricultura competitiva no Brasil. *Química Nova*, v. 32, n. 3, p. 722–731, 2009.

ZUCCHI, Roberto Antonio. Mosca-do-mediterrâneo, *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). In: VILELA, Evaldo Ferreira; DELLA LUCIA, Terezinha Maria Castro (Org.). *Histórico e impacto das pragas introduzidas no Brasil*. Ribeirão Preto: Holos, 2001.

ZUCCHI, R. A. *et al.* Prejuízos das moscas-das-frutas na exportação de citros. *Visão Agrícola*, v. 2, n. 2, p. 73–77, 2004.

ZUCCHI, Roberto A. *et al.* *Moscas-das-frutas no Brasil: conhecimento básico e aplicado*. v. I e II. Piracicaba: FEALQ, 2024.

8. ANEXOS

8.1 - APÊNDICE 1 - PRODUTO TÉCNICO/ TECNOLÓGICO - PEDIDO DE PATENTE



04/03/2026 870260020212
17:27
29409162352256859

Pedido nacional de invenção; Pedido nacional de modelo de utilidade; Pedido nacional de certificado de adição de invenção; e Entrada na fase nacional do PCT

Número do Processo: BR 10 2026 005156 0

Dados do Depositante (71)

Depositante 1 de 2

Nome ou Razão Social: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALAGOAS - IFAL

Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica

CPF/CNPJ: 10825373000155

Nacionalidade: Brasileira

Endereço: Rua Odilon Vasconcelos, 103, Jatiúca

Cidade: Maceió

Estado: AL

CEP: 57035-660

País: Brasil

Telefone: (82) 3194-1178

Fax:

Email: nit@ifal.edu.br

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 04/03/2026 às 17:27, Petição 870260020212

Depositante 2 de 2

Nome ou Razão Social: UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL

Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica

CPF/CNPJ: 24464109000148

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Jurídica: Instituição de Ensino e Pesquisa

Endereço: Av. Lourival Melo Mota, S/N, Tabuleiro do Martins

Cidade: Maceió

Estado: AL

CEP: 57072-970

País: BRASIL

Telefone: (82) 321 41121

Fax:

Email: nit@propep.ufal.br

Email: nit@propep.ufal.br

Dados do Pedido

Natureza Patente: 10 - Patente de Invenção (PI)

Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54): SISTEMA À BASE DE RESÍDUOS DE MANGA PARA ADSORÇÃO E LIBERAÇÃO DE MISTURAS DE SEMIOQUÍMICOS

Resumo: A fruticultura exerce papel relevante na economia brasileira, porém enfrenta severas perdas decorrentes do ataque de insetos-praga, destacando-se *Anastrepha obliqua*. O controle convencional, baseado no uso intensivo de insumos químicos, gera impactos ambientais e riscos à saúde, o que reforça a necessidade de estratégias sustentáveis no âmbito do Manejo Integrado de Pragas. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo desenvolver e avaliar um substrato adsorvente obtido a partir de resíduos de casca de manga rosa, associado ou não à quitosana, visando sua aplicação na adsorção e liberação controlada de semioquímicos atrativos para *A. obliqua*.

Figura a publicar: 1

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 04/03/2026 às 17:27, Petição 870260020212

Dados do Inventor (72)

Inventor 1 de 10**Nome:** RUTH RUFINO DO NASCIMENTO**CPF:** 45429804487**Nacionalidade:** Brasileira**Qualificação Física:** Professor do ensino superior**Endereço:** Rua Dr. Antonio Cansancao,380, Residencial Monte Paradiso,
apartamento 412**Cidade:** Maceió**Estado:** AL**CEP:****País:** BRASIL**Telefone:****Fax:****Email:** rrr@iqb.ufal.br**Inventor 2 de 10****Nome:** JOHNNATAN DUARTE DE FREITAS**CPF:** 02883633452**Nacionalidade:** Brasileira**Qualificação Física:** Professor do ensino profissional**Endereço:** Avenida Menino Marcelo, S/N, Q.D31**Cidade:** Maceió**Estado:** AL**CEP:** 57048-148**País:** BRASIL**Telefone:****Fax:****Email:****Inventor 3 de 10**

Nome: NATHALY COSTA DE AQUINO CARLOS

CPF: 07686251497

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Estudante de Pós Graduação

Endereço: Rua progresso, nº 1021, Serraria

Cidade: Maceió

Estado: AL

CEP:

País: BRASIL

Telefone:

Fax:

Email:

Inventor 4 de 10

Nome: ALAN JOHN DUARTE DE FREITAS

CPF: 03579079492

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Professor do ensino profissional

Endereço: ET da Utinga, 3 , Lote 3 QD "K" Alfa Jardins, Pref Antonio L. Souza

Cidade: Rio Largo

Estado: AL

CEP:

País: BRASIL

Telefone:

Fax:

Email:

Inventor 5 de 10

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em
04/03/2026 às 17:27, Petição 870260020212

Nome: IZABELLA DE OLIVEIRA GONÇALVES

CPF: 12063818410

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Estudante de Pós Graduação

Endereço: Rua João de Deus, N°20, Malhadas

Cidade: Marechal Deodoro

Estado: AL

CEP:

País: BRASIL

Telefone:

Fax:

Email:

Inventor 6 de 10

Nome: RAFAEL AUGUSTO NOBREGA TAVARES

CPF: 08362512458

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Estudante de Pós Graduação

Endereço: Rua Santa Isabel Loteamento Santa Madalena nº1, Feitosa

Cidade: Maceió

Estado: AL

CEP:

País: BRASIL

Telefone:

Fax:

Email:

Inventor 7 de 10

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em
04/03/2026 às 17:27, Petição 870260020212

Nome: SARA SOUZA PEREIRA

CPF: 01792215401

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Estudante de Pós Graduação

Endereço: Avenida Tancredo Neves, 517 - Santos Dumont

Cidade: Maceió

Estado: AL

CEP: 57075-560

País: BRASIL

Telefone:

Fax:

Email:

Inventor 8 de 10

Nome: JÉSSICA DE LIMA SANTOS

CPF: 08486377471

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Estudante de Pós Graduação

Endereço: Travessa governador lamenha filho. 52/Feitosa

Cidade: Maceió

Estado: AL

CEP: 57043-005

País: BRASIL

Telefone:

Fax:

Email:

Inventor 9 de 10

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em
04/03/2026 às 17:27, Petição 870260020212

Nome: DIOGO CARLOS HENRIQUE

CPF: 04648304438

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Professor do ensino superior

Endereço: Rua progresso, nº 1021, Serraria

Cidade: Maceió

Estado: AL

CEP: 57046-256

País: BRASIL

Telefone:

Fax:

Email:

Inventor 10 de 10

Nome: PATRÍCIA BRANDÃO BARBOSA DA SILVA

CPF: 06552041489

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Professor do ensino superior

Endereço: Av Roberto Mascarenhas de Brito,426, bl 02 , ap 303 , Jatiuca, Ed Mahatma Gandhi

Cidade: Maceió

Estado: AL

CEP: 57035-851

País: BRASIL

Telefone:

Fax:

Email:

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em
04/03/2026 às 17:27, Petição 870260020212

8.2 - Apresentação de trabalho em evento científico nacional (CBQ)

