



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

Potencial Antifúngico de Bioinsumos: Aplicações de Óleos Essenciais e Líquido da Casca da Castanha de Cajú na Preservação de Frutas

Autor (a): Paula Luiza Antunes de Oliveira
Orientadora: Profa. Dra. Silvia Maria Martelli
Co-orientadora: Profa. Dra. Daniele Marques Vilela

Dourados
2025

Paula Luiza Antunes de Oliveira

Potencial Antifúngico de Bioinsumos: Aplicações de Óleos Essenciais e Líquido da Casca da Castanha de Cajú na Preservação de Frutas

“Tese de doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, como um dos requisitos necessários para a obtenção do título de Doutora em Ciência e Tecnologia Ambiental.”
Orientadora: Profa. Dra. Silvia Maria Martelli
Co-orientadora: Profa. Dra. Daniele Marques Vilela

Dourados
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

O48p Oliveira, Paula Luiza Antunes De
Potencial Antifúngico de Bioinsumos: Aplicações de Óleos Essenciais e Líquido da Casca da Castanha de Caju na Preservação de Frutas [recurso eletrônico] / Paula Luiza Antunes De Oliveira.
-- 2025.
Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Sílvia Maria Martelli.
Coorientadora: Danielle Marques Vilela.
Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia Ambiental)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2025.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Atividade antifúngica. 2. Conservação pós-colheita. 3. Segurança alimentar. I. Martelli, Sílvia Maria. II. Vilela, Danielle Marques. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.



ATA DA DEFESA DE TESE DE DOUTORADO APRESENTADA POR PAULA LUIZA ANTUNES DE OLIVEIRA, ALUNA DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO "TECNOLOGIA AMBIENTAL".

Aos seis dias do mês de agosto do ano de dois mil e vinte e cinco, às oito horas e trinta minutos, em sessão pública, realizou-se na Universidade Federal da Grande Dourados, a Defesa de Tese de Doutorado intitulada **"Potencial Antifúngico de Bioinsumos: Aplicações de Óleos Essenciais e Líquido da Casca da Castanha de Cajú na Preservação de Frutas"**, apresentada pela doutoranda Paula Luiza Antunes de Oliveira, do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, à Banca Examinadora constituída pelos membros: Prof.ª Dr.ª Silvia Maria Martelli/UFGD (presidente/orientadora), Prof. Dr. Rodrigo Simoes Ribeiro Leite/UFGD (membro titular interno), Prof.ª Dr.ª Maria Helena Verdan/UFGD (membro titular externo), Prof. Dr. Pedro Cruz de Oliveira Júnior/SED-MS (membro titular externo), Prof.ª Dr.ª Renata Pires de Araujo/UFGD (membro titular externo). Iniciados os trabalhos, a presidência deu a conhecer à candidata e aos integrantes da banca as normas a serem observadas na apresentação da Tese. Após a candidata ter apresentado a sua Tese, os componentes da Banca Examinadora fizeram suas arguições. Terminada a Defesa, a Banca Examinadora, em sessão secreta, passou aos trabalhos de julgamento, tendo sido a candidata considerada **APROVADA**. Nada mais havendo a tratar, lavrou-se a presente ata, que vai assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Dourados/MS, 06 de agosto de 2025.

Documento assinado digitalmente
gov.br SILVIA MARIA MARTELLI
Data: 01/09/2025 12:09:42-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof.ª Dr.ª Silvia Maria Martelli
Presidente/orientadora

Documento assinado digitalmente
gov.br RODRIGO SIMOES RIBEIRO LEITE
Data: 01/09/2025 15:11:36-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Rodrigo Simoes Ribeiro Leite
Membro Titular Interno

Documento assinado digitalmente
gov.br MARIA HELENA VERDAN
Data: 01/09/2025 12:24:48-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof.ª Dr.ª Maria Helena Verdan
Membro Titular Externo

Documento assinado digitalmente
gov.br PEDRO CRUZ DE OLIVEIRA JUNIOR
Data: 01/09/2025 14:25:11-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Pedro Cruz de Oliveira Júnior
Membro Titular Externo

Documento assinado digitalmente
gov.br RENATA PIRES DE ARAUJO
Data: 01/09/2025 13:31:49-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof.ª Dr.ª Renata Pires de Araujo
Membro Titular Externo

(PARA USO EXCLUSIVO DA PROPP)



TERMO DE APROVAÇÃO

Após apresentação, arguição e apreciação pela banca examinadora, foi emitido o parecer Aprovado, para a tese intitulada: "**Potencial Antifúngico de Bioinsumos: Aplicações de Óleos Essenciais e Líquido da Casca da Castanha de Cajú na Preservação de Frutas**", de autoria de **Paula Luiza Antunes de Oliveira**, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Grande Dourados.

Documento assinado digitalmente
gov.br SILVIA MARIA MARTELLI
Data: 06/09/2025 12:11:59-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dra. Silvia Maria Martelli
Presidente da Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
gov.br RODRIGO SIMÕES RIBEIRO LEITE
Data: 06/09/2025 16:31:30-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Rodrigo Simões Ribeiro Leite
Membro Examinador (UFGD)

Documento assinado digitalmente
gov.br MARIA HELENA VERDAN
Data: 06/09/2025 12:11:03-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dra. Maria Helena Verdán
Membro Examinador (*Externo*)

Documento assinado digitalmente
gov.br PEDRO CRUZ DE OLIVEIRA JÚNIOR
Data: 10/09/2025 14:15:10-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Pedro Cruz de Oliveira Júnior
Membro Examinador (*Externo*)

Documento assinado digitalmente
gov.br RENATA PIRES DE ARAUJO
Data: 08/09/2025 16:23:40-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dra. Renata Pires de Araujo
Membro Examinador (*UFGD*)

Dourados/MS, 05 de Setembro de 2025.

DEDICATÓRIA

A minha amada mãe, Nilcéia Antunes.

AGRADECIMENTOS

A Deus acima de tudo.

A minha Mãe Nilcéia.

A minha Orientadora Silvia, pelo acolhimento, orientação, compreensão e paciência.

A minha Co-Orientadora Danielle, pelo acolhimento, orientação, compreensão e paciência.

A Carolina Amadeu, João Paulo Zagonel, Mayana Samúrio, Bruno Mondini e Marisa Lima pela colaboração e ajuda.

A minha Família e Amigos pela força e compreensão.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, pela oportunidade de formação acadêmica e científica.

À Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), pela estrutura e suporte institucional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo apoio financeiro, por meio da concessão da bolsa nº 88887.618361/2021-00, fundamental para a realização desta pesquisa.

Financiamento de algum outro órgão?

Potencial Antifúngico de Bioinsumos: Aplicações de Óleos Essenciais e Líquido da Casca da Castanha de Caju na Preservação de Frutas

RESUMO

O potencial antifúngico de bioinsumos naturais, como óleos essenciais e o líquido da casca da castanha de caju (LCCt), tem se destacado como uma alternativa sustentável e eficiente para o controle de fungos fitopatogênicos e a conservação pós-colheita de frutas tropicais. A crescente demanda por alimentos naturais, seguros e ambientalmente responsáveis impulsiona a busca por estratégias inovadoras que substituam o uso intensivo de agrotóxicos e conservantes químicos, cuja aplicação contínua acarreta impactos ambientais, riscos à saúde humana e favorece o surgimento de cepas resistentes de microrganismos. Nesse contexto, óleos essenciais de cravo (*Syzygium aromaticum*), hortelã (*Mentha piperita*), árvore do chá (*Melaleuca alternifolia*) e óleo de babaçu (*Attalea speciosa*), assim como o LCCt, têm se mostrado promissores devido à presença de compostos bioativos capazes de inibir o crescimento fúngico, apresentar baixo potencial tóxico e serem biodegradáveis, constituindo alternativas ecologicamente responsáveis e economicamente viáveis. O objetivo geral desta tese foi avaliar o potencial antifúngico desses bioinsumos sobre *Aspergillus sp.* e *Colletotrichum gloeosporioides*, além de verificar sua eficácia quando incorporados em coberturas biodegradáveis para a conservação de goiabas (*Psidium guajava L.*). Os objetivos específicos incluíram: investigar a ação inibitória dos óleos essenciais e do LCCt sobre os fungos selecionados; avaliar o desempenho de coberturas à base de carboximetilcelulose (CMC) e pectina contendo esses compostos na preservação de atributos físico-químicos, microbiológicos e sensoriais das frutas; e discutir a viabilidade do uso de bioinsumos como alternativas sustentáveis frente a métodos convencionais de conservação e controle fitossanitário. O Artigo 1, intitulado “*Antifungal Efficacy of Essential Oils (Clove, Peppermint, Tea Tree, Babassu) and Cashew Nut Shell Liquid against Aspergillus sp. and Colletotrichum gloeosporioides*”, investigou a ação antifúngica dos óleos essenciais e do LCCt em ensaios *in vitro* de concentração inibitória mínima, germinação conídica e crescimento micelial. O óleo essencial de cravo apresentou a maior eficácia, com potencial fungicida mesmo em baixas concentrações, seguido pelos óleos de hortelã-pimenta e árvore do chá, que atuaram principalmente como agentes fungistáticos. O LCCt e o óleo de babaçu demonstraram efeito antifúngico mais significativo em concentrações elevadas. Além disso, observou-se que *Colletotrichum gloeosporioides* foi mais sensível aos tratamentos do que *Aspergillus sp.*, que apresentou maior resistência intrínseca. Os resultados confirmam que esses compostos naturais representam alternativas eficazes e ecológicas para o manejo de fungos em frutas tropicais, reduzindo o risco de contaminação e perdas econômicas. O Artigo 2, “*Aplicação de Coberturas Biodegradáveis contendo LCCt e Óleos Essenciais de Cravo e Hortelã para Conservação de Goiabas*”, avaliou formulações de CMC e pectina incorporando LCCt e óleos essenciais na conservação de goiabas durante o armazenamento. As coberturas retardaram de maneira significativa a degradação das frutas, mantendo parâmetros como pH, sólidos solúveis, acidez, vitamina C e inibindo o crescimento microbiano. A formulação que combinou óleo de cravo e LCCt destacou-se pela preservação da aparência visual, textura e qualidade nutricional das frutas, demonstrando a ação sinérgica dos compostos naturais na conservação pós-colheita. As considerações finais evidenciam que óleos essenciais e LCCt são estratégias promissoras para o controle de fungos fitopatogênicos e conservação de frutas tropicais, oferecendo alternativas sustentáveis à utilização de agrotóxicos e atendendo à crescente demanda por alimentos naturais, seguros e ambientalmente responsáveis. Os resultados reforçam a aplicabilidade desses bioinsumos na agroindústria e indicam a necessidade de continuidade de pesquisas voltadas à elucidação dos mecanismos de ação, estabilidade das formulações e validação em

condições comerciais, consolidando seu uso como solução inovadora e ecologicamente correta para a preservação de frutas tropicais.

Palavras-chave: bioinsumos, óleos essenciais, líquido da casca da castanha de caju, conservação de frutas, antifúngico natural.

Antifungal Potential of Bioinputs: Applications of Essential Oils and Cashew Nut Peel Liquid in Fruit Preservation

ABSTRACT

The antifungal potential of natural bioinputs, such as essential oils and cashew nut shell liquid (CNSL), has emerged as a sustainable and effective alternative for controlling phytopathogenic fungi and preserving tropical fruits post-harvest. The growing demand for natural, safe, and environmentally responsible foods drives the search for innovative strategies to replace the intensive use of pesticides and chemical preservatives, whose continuous application causes environmental impacts, human health risks, and promotes the emergence of resistant microbial strains. In this context, essential oils from clove (*Syzygium aromaticum*), peppermint (*Mentha piperita*), tea tree (*Melaleuca alternifolia*), and babassu oil (*Attalea speciosa*), as well as CNSL, have shown promise due to the presence of bioactive compounds capable of inhibiting fungal growth, exhibiting low toxicity, and being biodegradable, constituting ecologically responsible and economically viable alternatives. The main objective of this thesis was to evaluate the antifungal potential of these bioinputs against *Aspergillus* sp. and *Colletotrichum gloeosporioides*, as well as to assess their effectiveness when incorporated into biodegradable coatings for the preservation of guavas (*Psidium guajava* L.). The specific objectives included investigating the inhibitory action of essential oils and CNSL on the selected fungi; evaluating the performance of carboxymethylcellulose (CMC) and pectin-based coatings containing these compounds in preserving the physicochemical, microbiological, and sensory attributes of the fruits; and discussing the feasibility of using bioinputs as sustainable alternatives to conventional conservation and phytosanitary control methods. Article 1, titled “Antifungal Efficacy of Essential Oils (Clove, Peppermint, Tea Tree, Babassu) and Cashew Nut Shell Liquid against *Aspergillus* sp. and *Colletotrichum gloeosporioides*,” investigated the antifungal activity of essential oils and CNSL through in vitro assays, including minimum inhibitory concentration, conidial germination, and mycelial growth inhibition. Clove essential oil demonstrated the highest efficacy, showing fungicidal potential even at low concentrations, followed by peppermint and tea tree oils, which primarily acted as fungistatic agents. CNSL and babassu oil exhibited more significant antifungal effects at higher concentrations. Additionally, *Colletotrichum gloeosporioides* was generally more sensitive to treatments than *Aspergillus* sp., which showed greater intrinsic resistance. The results confirm that these natural compounds represent effective and eco-friendly alternatives for managing fungi in tropical fruits, reducing contamination risks and economic losses. Article 2, “Application of Biodegradable Coatings Containing CNSL and Clove and Peppermint Essential Oils for Guava Preservation,” evaluated CMC and pectin-based formulations incorporating CNSL and essential oils for post-harvest preservation of guavas during storage. The coatings significantly slowed fruit degradation, maintaining parameters such as pH, soluble solids, acidity, vitamin C content, and inhibiting microbial growth. The formulation combining clove oil and CNSL stood out for preserving visual appearance, texture, and nutritional quality, demonstrating the synergistic effect of natural compounds in post-harvest conservation. The final considerations indicate that essential oils and CNSL are promising strategies for controlling phytopathogenic fungi and preserving tropical fruits, offering sustainable alternatives to pesticides while meeting the growing demand for natural, safe, and environmentally responsible foods. The results reinforce the applicability of these bioinputs in the agroindustry and highlight the need for continued research on their mechanisms of action, formulation stability, and validation under commercial conditions, consolidating their use as an innovative and ecologically sound solution for tropical fruit preservation.

Keywords: bioinputs, essential oils, cashew nut shell liquid, fruit preservation, natural antifungal.

SUMÁRIO

Préambulo.....	10
Cap. 1 – Introdução	12
Cap. 2 – Revisão Bibliográfica	14
Cap. 3 – Artigo 1: EFEITO INIBITÓRIO DE DIFERENTES ÓLEOS ESSENCIAIS E VEGETAIS E LIQUIDO DA CASCA DA CASTANHA DE CAJU NO DESENVOLVIMENTO DE <i>Aspergillus</i> sp. E <i>Colletotrichum glomeosporioides</i>	20
Cap. 4 – Artigo 2: APLICAÇÃO DE COBERTURAS BIODEGRADÁVEIS CONTENDO LÍQUIDO DA CASTANHA DE CAJÚ (LCCT) E OS ÓLEOS ESSENCIAIS DE CRAVO (<i>Eugenia caryophyllus</i>) E HORTELÃ (<i>Mentha piperita</i>) PARA CONSERVAÇÃO DE GOIABAS (<i>Psidium guajava</i> L.)	45
Cap. 5 – Considerações finais.....	71

PREÂMBULO

A crescente demanda por alimentos seguros, naturais e ambientalmente sustentáveis tem estimulado a busca por alternativas inovadoras para o controle de agentes deterioradores e a conservação pós-colheita de frutas tropicais (Almeida *et al.*, 2020). Entre os principais responsáveis pelas perdas na produção agrícola estão fungos fitopatogênicos, como *Aspergillus* sp. e *Colletotrichum gloeosporioides*, que comprometem a qualidade dos alimentos e podem afetar a saúde pública devido à produção de micotoxinas. O controle tradicionalmente baseado em agrotóxicos químicos apresenta efeitos adversos ao meio ambiente, à saúde humana e favorece o surgimento de resistência fúngica (Kacaniova *et al.*, 2020; Vieira, 2025).

Nesse contexto, óleos essenciais de plantas como cravo (*Syzygium aromaticum*), hortelã (*Mentha piperita*), melaleuca (*Melaleuca alternifolia*) e o óleo vegetal de babaçu (*Attalea speciosa*) destacam-se como agentes antifúngicos naturais, com compostos bioativos, como eugenol e mentol, capazes de inibir o crescimento fúngico e preservar a qualidade dos alimentos (Aparecido *et al.*, 2024; Souza *et al.*, 2021). De forma complementar, o líquido da casca da castanha de caju (LCCt) apresenta-se como alternativa sustentável, biodegradável e com baixa toxicidade (Kacaniova *et al.*, 2020; Vieira, 2025).

A conservação pós-colheita também pode ser aprimorada por coberturas biodegradáveis formadas por polímeros naturais, como carboximetilcelulose (CMC) e pectina, associadas a plastificantes, que funcionam como barreiras físicas contra agentes externos, retardando a deterioração (Aparecido *et al.*, 2024; Goes *et al.*, 2020). A incorporação de óleos essenciais a esses revestimentos amplia a proteção antifúngica e antioxidante, favorecendo a extensão da vida útil e a manutenção das propriedades sensoriais e nutricionais das frutas (Quintella, 2024; Chaudhari *et al.*, 2020).

A presente pesquisa, portanto, inseriu-se no âmbito da sustentabilidade e inovação agroindustrial, avaliando o potencial antifúngico de óleos essenciais e do LCCt, bem como a aplicação de coberturas biodegradáveis para a conservação de frutas tropicais. Buscou-se, com isso, oferecer soluções economicamente viáveis, ecologicamente responsáveis e socialmente benéficas para o setor agroalimentar, alinhando-se às tendências globais de produtos verdes e naturais, que valorizam a saúde do consumidor e a preservação ambiental.

Este trabalho está estruturado em 5 capítulos, organizados de forma a apresentar de maneira progressiva os fundamentos, metodologias e resultados obtidos durante o desenvolvimento da pesquisa. O Préambulo, com uma contextualização geral do tema, a delimitação do problema, os objetivos da pesquisa e a justificativa para a realização do estudo.

O Capítulo 1 traz a Introdução, na qual são discutidos o cenário atual da contaminação fúngica em frutas, os impactos socioeconômicos e ambientais dessa problemática, além da relevância da busca por alternativas sustentáveis no controle fitossanitário.

O Capítulo 2 corresponde à Revisão Bibliográfica, que reúne e analisa os principais conceitos e estudos relacionados ao uso de bioinsumos, óleos essenciais, líquido da casca da castanha de caju (LC Ct), conservação de frutas e controle de fungos pós-colheita. O Capítulo 3 apresenta o Artigo 1, intitulado "*Efeito inibitório de diferentes óleos essenciais e vegetais e líquido da casca da castanha de caju no desenvolvimento de Aspergillus sp. e Colletotrichum gloeosporioides*", o qual descreve os experimentos *in vitro* realizados para avaliar a ação antifúngica dos compostos naturais. O Capítulo 4 compreende o Artigo 2, intitulado "*Aplicação de coberturas biodegradáveis contendo líquido da castanha de caju (LC Ct) e os óleos essenciais de cravo (Syzygium aromaticum) e hortelã (Mentha piperita) para conservação de goiabas (Psidium guajava L.)* ", o qual descreve a formulação e aplicação prática dessas coberturas em frutas armazenadas. O Capítulo 5 apresenta as Considerações Finais, retomando os principais resultados dos artigos e sua contribuição para a área de conservação pós-colheita e segurança alimentar.

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

A fruticultura, juntamente com a produção de grãos e cereais, constitui um dos pilares da economia agrícola brasileira, representando significativa parcela do Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio e garantindo o abastecimento tanto do mercado interno quanto do setor exportador (Brasil, 2023; Bastiani *et al.*, 2020). Nesse contexto, a goiaba (*Psidium guajava* L.) se destaca por seu sabor característico, alto valor nutricional e potencial industrial, embora sua elevada perecibilidade imponha desafios logísticos e econômicos na cadeia pós-colheita (Almeida *et al.*, 2020; Kacaniova *et al.*, 2020).

A produção de frutas tropicais enfrenta ainda riscos constantes de contaminação por fungos fitopatogênicos, como *Aspergillus* sp. e *Colletotrichum gloeosporioides*, responsáveis por perdas expressivas de qualidade, segurança e durabilidade dos produtos durante armazenamento, transporte e comercialização (Moreira *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2021). Esses microrganismos podem comprometer não apenas o valor comercial das frutas, mas também a saúde pública, devido à produção de micotoxinas (Souza *et al.*, 2021; Bastiani *et al.*, 2020).

O modelo tradicional de controle fitossanitário ainda depende amplamente de agrotóxicos e conservantes sintéticos, cuja eficácia em curto prazo é reconhecida. No entanto, seu uso contínuo acarreta problemas ambientais, resíduos tóxicos nos alimentos e favorece a resistência microbiana, além de aumentar a pressão por regulamentações mais rigorosas (Santos *et al.*, 2021; Ferrão *et al.*, 2020). Paralelamente, cresce a demanda dos consumidores por alimentos naturais, saudáveis e livres de contaminantes químicos (Vieira, 2025; Aquino *et al.*, 2021).

Diante desse cenário, alternativas sustentáveis de controle microbiológico e conservação têm despertado interesse científico e tecnológico, sobretudo aquelas baseadas em compostos naturais de origem vegetal (Aparecido *et al.*, 2024; Souza *et al.*, 2021). Óleos essenciais, como os extraídos de cravo (*Syzygium aromaticum*) e hortelã (*Mentha piperita*), bem como o líquido da casca da castanha de caju (LCCt), apresentam ação antifúngica comprovada, além de características como biodegradabilidade, baixa toxicidade e renovabilidade, sendo aplicáveis em diversos pontos da cadeia agroalimentar (Kacaniova *et al.*, 2020; Vieira, 2025).

Pesquisas recentes têm evidenciado que esses compostos naturais são capazes de inibir o crescimento microbiano, preservar atributos físico-químicos e prolongar a vida útil de frutas e vegetais perecíveis (Barboza *et al.*, 2022; Aquino *et al.*, 2021). Contudo, ainda são limitados os estudos que avaliem a eficácia de formulações combinadas, como a incorporação em

coberturas biodegradáveis, especialmente em testes práticos com fungos de relevância agrícola (Simsek *et al.*, 2020; Aparecido *et al.*, 2024).

Assim, existe uma lacuna no desenvolvimento de tecnologias sustentáveis que explorem a ação sinérgica de óleos essenciais e LCCt em frutas tropicais de alto valor comercial, como a goiaba (Aparecido *et al.*, 2024). O uso de matrizes biodegradáveis que incorporem esses compostos tem o potencial de unir controle microbiológico eficaz, sustentabilidade ambiental e valorização de resíduos agroindustriais, representando uma estratégia inovadora para a conservação pós-colheita (Barboza *et al.*, 2022; Chaudhari *et al.*, 2020).

Diante dessa realidade, a presente tese buscou contribuir para o avanço do conhecimento e para a inovação na agroindústria por meio da avaliação do potencial antifúngico e conservante de compostos naturais. O primeiro artigo investigou a eficácia de diferentes óleos essenciais e do LCCt na inibição de fungos fitopatogênicos com impacto na fruticultura e nos grãos. O segundo artigo aplicou os mesmos compostos em formulações biodegradáveis para a conservação pós-colheita de goiabas. A articulação desses dois estudos permitiu compreender os efeitos dos biocompostos tanto em contextos de prevenção quanto de preservação, propondo soluções que podem reduzir a dependência de produtos sintéticos, atender às exigências dos consumidores e promover práticas agrícolas mais seguras e sustentáveis.

OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial antifúngico de óleos essenciais e do LCCT aplicados em fungos patogênicos e sua incorporação em coberturas biodegradáveis para testar sua ação conservante no pós-colheita de frutas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar o efeito inibitório dos óleos essenciais cravo (*Syzygium aromaticum*), hortelã. (*Mentha piperita*), melaleuca (*Melaleuca alternifolia*), e óleo vegetal de babaçu (*Attalea speciosa*) e de variações do LCCT sobre o desenvolvimento de *Aspergillus sp.* e *Colletotrichum gloeosporioides*.
- Avaliar a eficácia de coberturas biodegradáveis à base de carboximetilcelulose contendo óleos essenciais e LCCT em goiabas na preservação de atributos físico-químicos, microbiológicos e visuais das frutas durante o armazenamento.
- Discutir a viabilidade da aplicação dos bioinsumos como alternativas sustentáveis aos métodos convencionais de controle e conservação.

CAPÍTULO 2. REVISÃO DE LITERATURA

Fungos Fitopatogênicos e suas Implicações Pós-Colheita

Os fungos fitopatogênicos representam uma das principais causas de perdas pós-colheita em frutas tropicais, com impacto significativo na economia agrícola e na segurança alimentar. Dentre os mais relevantes destacam-se *Aspergillus sp.* e *Colletotrichum gloeosporioides*, ambos associados à deterioração de frutos durante o armazenamento e transporte. *Aspergillus* é conhecido pela produção de micotoxinas, como a aflatoxina, substância carcinogênica que compromete a qualidade sanitária dos alimentos, podendo causar sérios riscos à saúde humana. Já *Colletotrichum gloeosporioides* é o agente etiológico da antracnose, enfermidade que reduz a vida útil dos frutos e afeta seu valor comercial (Sarria *et al.*, 2023).

Esses fungos atuam principalmente por meio da produção de enzimas hidrolíticas, como pectinases e celulasas, que degradam as paredes celulares vegetais e facilitam a invasão tecidual (Sarria *et al.*, 2023). A infecção geralmente se inicia de forma latente ainda no campo e se manifesta nas etapas finais da cadeia produtiva, tornando o controle mais difícil (Souza *et al.*, 2021).

O uso contínuo de fungicidas sintéticos levou ao surgimento de cepas resistentes, dificultando o manejo químico convencional (Santos *et al.*, 2021). Mecanismos de resistência incluem o espessamento da parede celular, produção de bombas de efluxo e mutações em sítios-alvo dos princípios ativos, essa resistência tem forçado a busca por alternativas mais sustentáveis, como o uso de óleos essenciais e extratos vegetais com atividade antifúngica comprovada (Ferrão, 2020).

A literatura ressalta a importância de estratégias integradas, que combinem boas práticas agrícolas, manejo pós-colheita e aplicação de bioprodutos. Segundo Santos *et al.* (2021) e Ferrão (2020), a substituição gradual de agrotóxicos por substâncias naturais pode reduzir os impactos ambientais e preservar a saúde do consumidor, sem comprometer a eficácia no controle fúngico.

Potencial Antifúngico de Óleos Essenciais

Os óleos essenciais (OEs) são substâncias naturais voláteis extraídas de plantas aromáticas, com ampla aplicabilidade devido às suas propriedades antimicrobianas e antifúngicas. Entre os OEs mais estudados destacam-se cravo (*Syzygium aromaticum*), hortelã (*Mentha piperita*), melaleuca (*Melaleuca alternifolia*), bem como óleo vegetal de babaçu

(*Attalea speciosa*), ricos em compostos como eugenol, mentol e ácido láurico, entre outros. Esses compostos são reconhecidos por afetarem diretamente a integridade das membranas celulares dos microrganismos, comprometendo sua viabilidade (Lee *et al.*, 2020; Filha *et al.*, 2025).

O óleo essencial de cravo (OEC) contém eugenol como seu principal componente bioativo, esse composto é capaz de desestabilizar a membrana de microrganismos, promovendo lise celular. Em sistemas alimentícios, o uso de OEC tem demonstrado significativa atividade antifúngica contra fungos do gênero *Aspergillus*, fungo altamente relevante por suas propriedades toxigênicas e deteriorantes. De maneira semelhante, o óleo essencial de hortelã (OEH), rico em mentol, atua de forma sinérgica com o eugenol, não apenas intensificando a ação antimicrobiana, mas também conferindo aroma e frescor desejáveis aos alimentos tratados (Queiroz *et al.*, 2020; Candéo *et al.*, 2020).

Já o óleo essencial de melaleuca (ou *tea tree oil*) (OEM), cuja principal substância ativa é o terpinen-4-ol, também possui potente ação antifúngica, sendo eficaz contra diferentes cepas de fungos patogênicos. Esses efeitos são potencializados quando os OEs são combinados entre si, apresentando sinergismo que amplia o espectro e a eficácia do controle microbiano (Moreira *et al.*, 2020). Métodos como difusão em disco e microdiluição têm sido utilizados para avaliar a concentração mínima inibitória (CMI) desses óleos, permitindo mensurar sua eficácia frente a diferentes fungos (Filha *et al.*, 2025).

A inserção de OEs em matrizes como a carboximetilcelulose (CMC) tem permitido o desenvolvimento de sistemas de liberação controlada e filmes comestíveis com propriedades antimicrobianas e antioxidantes (Filha *et al.*, 2025). Essa combinação oferece vantagens como a extensão da vida útil de alimentos, preservação sensorial e substituição de aditivos sintéticos (Sarria *et al.*, 2023).

Estudos recentes demonstraram o potencial da CMC como matriz polimérica eficiente na formulação de filmes e coberturas com óleos essenciais (OEs), destacando suas propriedades funcionais e antimicrobianas (Sarria *et al.*, 2023). Mei *et al.* (2021) investigaram a incorporação de óleo essencial de Chinese fir em filmes de CMC e observaram melhorias significativas na estabilidade térmica, propriedades mecânicas e atividade antimicrobiana, especialmente contra bactérias Gram-positivas e *Penicillium citrinum*, além de bons resultados na conservação de uvas do tipo Shine Muscat. De maneira semelhante, Simsek *et al.* (2020) analisaram filmes de CMC incorporados com OEs de *Santolina chamaecyparissus*, *Schinus molle* e *Eucalyptus globulus*, identificando que concentrações de 3% foram mais eficazes na inibição microbiana e também proporcionaram melhorias nas propriedades físicas e estruturais dos filmes, como

maior resistência à tração e redução da solubilidade em água. Já Iqbal *et al.* (2024) desenvolveram nanoemulsões com CMC e óleos essenciais de tomilho, cravo e cardamomo, aplicadas na conservação de kiwis. A formulação C-3, com melhor dispersão e estrutura não porosa, apresentou os resultados mais promissores, reduzindo significativamente a perda de peso, produção de etileno e contagem bacteriana, ao mesmo tempo em que preservou atributos como firmeza e acidez (Mei *et al.*, 2021; Iqbal *et al.*, 2024; Simsek *et al.*, 2020).

Em conjunto, esses estudos evidenciam que a associação entre CMC e OEs não apenas melhora as características tecnológicas dos filmes e revestimentos, mas também representa uma estratégia eficaz e sustentável para aumentar a vida útil e a segurança microbiológica de frutas durante o armazenamento (Iqbal *et al.*, 2024).

Líquido da Casca da Castanha de Caju (LCCt) como Bioproduto

O LCCt é um subproduto do beneficiamento da castanha-de-caju, eliminado durante a tostagem da castanha tem grande potencial na indústria alimentícia e agrícola, especialmente por suas propriedades antimicrobianas, amplamente cultivada em regiões tropicais como o Nordeste brasileiro e economicamente acessível. O LCCt, extraído da casca da castanha, mais especificamente do espaço entre a casca externa e a noz, contém compostos fenólicos como cardol, cardanol e anacardol, que conferem ao material propriedades bioativas importantes no controle de fungos, como *Aspergillus spp.*, amplamente associados à deterioração de alimentos e produção de micotoxinas (Agro Sustentar, 2023; Queiroz *et al.*, 2020; Ferrão *et al.*, 2020).

O LCCt surge como uma alternativa sustentável e inovadora para na criação de embalagens biodegradáveis e soluções de proteção pós-colheita, apresenta elevado potencial para substituir aditivos sintéticos, promovendo maior sustentabilidade no manejo pós-colheita. Uma de suas maiores vantagens está na baixa toxicidade e alta biodegradabilidade, características que o posicionam como alternativa sustentável aos pesticidas sintéticos (Agro Sustentar, 2023; Ferrão *et al.*, 2020).

Estudos recentes indicam que o LCCt atua rompendo as membranas fúngicas, causando morte celular e impedindo o crescimento de colônias. Técnicas como encapsulamento em nanopartículas têm sido empregadas para otimizar sua estabilidade e liberação controlada, aumentando sua eficácia e diminuindo os impactos ambientais. Além disso, sua estabilidade em diferentes condições de armazenamento o torna viável para uso ao longo da cadeia produtiva (Santos *et al.*, 2021; Goes *et al.*, 2020).

Apesar dos benefícios, ainda existem desafios para sua aplicação em larga escala, como a padronização das dosagens e a avaliação de possíveis efeitos colaterais sobre o meio ambiente

(Goes *et al.*, 2020). Entretanto, os avanços em pesquisa mostram que o LCCt é promissor na promoção da segurança alimentar e redução do uso de compostos químicos convencionais (Ferrão, 2020).

Coberturas Biodegradáveis e Conservação de Frutas

As coberturas biodegradáveis têm se consolidado como uma alternativa inovadora e sustentável para a conservação pós-colheita de frutas, especialmente as tropicais como a goiaba e a manga (Aquino *et al.*, 2021). Polímeros naturais como a CMC e a pectina, quando combinados com plastificantes como o sorbitol, formam filmes com excelentes propriedades mecânicas e de barreira, retardando a perda de água e a troca gasosa (Sarria *et al.*, 2023).

Essas coberturas podem ser enriquecidas com substâncias bioativas, como os óleos essenciais de cravo e hortelã. O eugenol e o mentol, ao serem incorporados na matriz de CMC, conferem ao revestimento atividade antimicrobiana e antioxidante, prolongando a vida útil e mantendo as características sensoriais das frutas (Batista *et al.*, 2022). Além da proteção contra microrganismos, esses compostos ajudam na preservação da cor, firmeza e valor nutricional dos frutos, fatores essenciais para a aceitação do consumidor (Aquino *et al.*, 2021).

Aplicações práticas demonstraram que frutas tratadas com revestimentos de CMC e óleos essenciais apresentaram menor taxa de respiração, redução na perda de massa e maior retenção de compostos bioativos (Batista *et al.*, 2022). No caso das mangas, por exemplo, estudos mostraram que a firmeza e o teor de umidade foram preservados por períodos mais longos, o que beneficia tanto produtores quanto varejistas (Barboza *et al.*, 2022).

A integração de polímeros naturais e óleos essenciais em coberturas biodegradáveis representa um avanço na conservação de alimentos, alinhando inovação tecnológica, segurança alimentar e sustentabilidade ambiental (Barboza *et al.*, 2022). Essa abordagem se mostra especialmente útil em países tropicais, onde o transporte e o armazenamento ainda enfrentam limitações (Batista *et al.*, 2022).

Vasconcelos *et al.* (2020) realizaram um estudo sobre filmes biodegradáveis feitos a partir de amido de mandioca, com ou sem óleo essencial da casca de laranja 'Pêra'. Apesar de os revestimentos não apresentarem melhorias substanciais em relação às goiabas sem revestimento, o estudo oferece uma contribuição importante para entender as limitações desses filmes na preservação da fruta, além de evidenciar a necessidade de desenvolver formulações mais eficientes.

Um estudo conduzido por Silva *et al.* (2022) utilizou coberturas compostas por amido modificado e gelatina com óleo essencial de hortelã-pimenta, observando uma significativa

manutenção da qualidade sensorial e microbiológica da goiaba. As concentrações de 1,0% e 1,5% foram eficazes na inibição de fungos e bactérias durante 15 dias de armazenamento (Silva *et al.*, 2022).

Oliveira *et al.* (2020) estudaram o uso de quitosana associada ao óleo essencial de *Cymbopogon citratus* (capim-limão) em revestimentos para goiabas. O tratamento demonstrou eficácia em preservar a qualidade da fruta ao longo de 10 dias de armazenamento, reduzindo a perda de peso e firmeza, além de minimizar variações nos sólidos solúveis, no pH e na acidez titulável. Também contribuiu para o aumento da resistência térmica do revestimento.

Por fim, Shu *et al.* (2024) avaliaram o uso de um revestimento de quitosana nanoemulsionada com carvacrol em goiabas. Os resultados mostraram que o revestimento de quitosana com 0,2% de carvacrol foi eficaz na manutenção da qualidade pós-colheita, com menores perdas de peso, menor escurecimento do pericarpo e maior firmeza, acidez e teor de fenol total, indicando um excelente potencial para aumentar a vida útil da fruta.

CAPÍTULO 3. ARTIGO 1

ANTIFUNGAL EFFICACY OF ESSENTIAL OILS (CLOVE, PEPPERMINT, TEA TREE, BABASSU) AND CASHEW NUT SHELL LIQUID AGAINST *Aspergillus sp.* AND *Colletotrichum gloeosporioides*

Paula Luiza Antunes de Oliveira¹; Danielle Marques Vilela²; Sílvia Maria Martelli^{3*}.

1 Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados (MS) Brasil; paulaluantunes@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0003-4783-3862>

2 Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, Brasil; daniellevilela@ufgd.edu.br <https://orcid.org/0000-0001-7549-7283>

3 Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, Brasil; silvamatelli@ufgd.edu.br <https://orcid.org/0000-0003-0890-8606>

*Autora correspondente: Sílvia Maria Martelli, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados, Rodovia Dourados-Itahum, Km 12 – Unidade II - Caixa Postal: 364, Dourados, MS, CEP: 79804-970, Dourados, Brasil. **E-mail: silviamartelli@ufgd.edu.br; smmartelli@gmail.com

RESUMO

Fungos como *Aspergillus sp.* e *Colletotrichum gloeosporioides* prejudicam significativamente a qualidade de frutas, cereais e grãos, causando perdas econômicas substanciais e apresentando riscos à segurança alimentar. Isso requer o desenvolvimento de métodos alternativos de controle para reduzir a dependência de agroquímicos sintéticos. Este estudo teve como objetivo avaliar o potencial fungicida dos óleos essenciais, de cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*), hortelã-pimenta (*Mentha piperita*) e árvore do chá (*Melaleuca alternifolia*), juntamente com óleo de babaçu (*Attalea speciosa*) e líquido técnico de castanha (CNSL) em várias formas (Na-CNSL puro, modificado com sódio e K-CNSL modificado com potássio), através de ensaios de concentração inibitória mínima (MIC), germinação conídica e inibição do crescimento micelial. O óleo essencial de cravo demonstrou consistentemente a maior atividade antifúngica em todos os três ensaios, exibindo potencial fungicida em concentrações acima de 5 µg/mL. O óleo essencial de hortelã-pimenta também apresentou alta eficácia, atingindo 100% de inibição contra *C. gloeosporioides* em concentrações acima de 15 µg/mL e contra *Aspergillus sp.* acima de 110 µg/mL, agindo principalmente como um agente fungistático. O óleo essencial da árvore do chá igualmente mostrou efeitos fungistáticos significativos. Enquanto o óleo de babaçu e as variantes do CNSL apresentaram atividade antifúngica, sua eficácia foi principalmente observada nas maiores concentrações testadas neste estudo. Notavelmente, *Colletotrichum gloeosporioides* foi geralmente mais suscetível aos tratamentos em comparação com *Aspergillus sp.*, que apresentou maior resistência intrínseca. Esses achados ressaltam a viabilidade dos óleos essenciais de cravo, hortelã-pimenta e árvore do chá como opções ecológicas para o controle de fungos. Pesquisas adicionais são necessárias para elucidar seus mecanismos precisos de ação e validar sua eficácia através de aplicações in vivo, para estratégias sustentáveis na agricultura e preservação de alimentos.

Palavras-chave: Atividade antifúngica; Óleos essenciais; Castanha de caju líquida (CNSL); *Aspergillus sp.*; *Colletotrichum gloeosporioides*; Segurança alimentar.

ABSTRACT

Fungi such as *Aspergillus* sp. and *Colletotrichum gloeosporioides* significantly impair the quality of fruits, cereals, and grains, causing substantial economic losses and posing risks to food safety. This necessitates the development of alternative control methods to reduce reliance on synthetic agrochemicals. This study aimed to evaluate the fungicidal potential of the essential oils, from clove (*Syzygium aromaticum*), peppermint (*Mentha piperita*), and tea tree (*Melaleuca alternifolia*), along with babassu oil (*Attalea speciosa*) and technical cashew nut shell liquid (CNSL) in various forms (pure, sodium-modified Na-CNSL, and potassium-modified K-CNSL), through minimum inhibitory concentration (MIC), conidial germination, and mycelial growth inhibition assays. Clove essential oil consistently demonstrated the highest antifungal activity across all three assays, exhibiting fungicidal potential at concentrations above 5 µg/mL. Peppermint essential oil also displayed high efficacy, achieving 100% inhibition against *C. gloeosporioides* at concentrations above 15 µg/mL and against *Aspergillus* sp. above 110 µg/mL, primarily acting as a fungistatic agent. Tea tree essential oil also showed significant fungistatic effects. While babassu oil and the CNSL variants displayed antifungal activity, their efficacy was primarily observed at the highest concentrations tested in this study. Notably, *Colletotrichum gloeosporioides* was generally more susceptible to the treatments compared to *Aspergillus* sp., which showed greater intrinsic resistance. These findings underscore the viability of clove, peppermint, and tea tree essential oils as eco-friendly options for fungal control. Further research is warranted to elucidate their precise mechanisms of action and to validate their efficacy through *in vivo* applications, for sustainable strategies in agriculture and food preservation.

Keywords: Antifungal activity; Essential oils; Cashew Nut Shell Liquid (CNSL); *Aspergillus* sp.; *Colletotrichum gloeosporioides*; Food safety

INTRODUCTION

Fungal contamination poses significant risks to food safety and human health due to the diseases and mycotoxins they produce, which are highly toxic to humans (Ferrão *et al.*, 2020). Among the most notable fungi are *Aspergillus* sp., known for its potent mycotoxin production, and *Colletotrichum* sp., which causes anthracnose, leading to fruit rot and substantial crop losses (Hassan *et al.*, 2018).

Aspergillus sp. is a genus of filamentous fungi with a broad geographic distribution and critical relevance in the food industry. It spreads widely due to its airborne spores, which can quickly contaminate various environments. This fungus grows on a diverse range of substrates, including food products, which can lead to serious diseases if not controlled (Nunes *et al.*, 2021). *Aspergillus* sp. rot affects fruits like grapes, impacting their derivatives in the food industry (e.g., wine and juice), as well as grains such as corn, wheat, soybeans, and beans, where it causes dark spots, excessive moisture, weight loss, and decreased nutritional quality (da Silva *et al.*, 2019).

Colletotrichum sp., responsible for anthracnose, is a common pathogen affecting various crops worldwide, limiting production in numerous countries. This fungus survives in plant parts (e.g., infected leaves and stems) and soil, spreading via wind and water. Upon contact with fruit, it adheres to the surface, forming a germ tube that penetrates the cuticle and allows the hyphae to invade the fruit cells. Additionally, it can remain dormant in plant debris, surviving long periods and resuming infection under favorable conditions (Santos Filho *et al.*, 2021; Vieira *et al.*, 2022). Anthracnose initially manifests as small brown spots on ripe fruit, expanding into dark, necrotic lesions with visible orange or salmon conidia. In green fruits, injuries appear as black lesions that deepen under high temperatures, drastically reducing fruit quality and causing significant economic losses (Santos Filho *et al.*, 2021). Control methods include removing infected leaves to lower the inoculum load, though heavy pesticide use raises health concerns, underscoring the need for safer, more sustainable alternatives (Ferreira *et al.*, 2018).

Each type of mycotoxin, such as aflatoxins, ochratoxins, and fumonisins, has distinct health effects and is found in different foods. Research on these toxins is essential to understand their impact on health and food safety (Brum *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2019). Identification and quantification of mycotoxins in foods are critical to ensuring safety and quality, with mitigation strategies including removing contaminated foods, controlling storage humidity and temperature, and applying various processing techniques. Emerging technologies, such as

essential and vegetable oils and Cashew Nut Shell Liquid (CNSL), show promise as alternative mycotoxin control methods (Menezes *et al.*, 2009; Welke *et al.*, 2019).

This study, therefore, aims to evaluate the antifungal effects of essential and vegetable oils, alongside CNSL, on *Aspergillus* sp. and *Colletotrichum gloesporioides*, with the potential to contribute significantly to safer, more effective fungal control methods for food products. Through this work, it is expected to advance the development of innovative, safer antifungal technologies that enhance food safety and protect human health.

MATERIAL AND METHODS

Obtaining antifungal compounds from essential oils (EO), vegetable oil (VA) and cashew nut shell liquids (CNSL)

Different compounds (EOs, VA and CNSLs) were evaluated for their antifungal activity. Their composition and other relevant information can be seen in Table 1. Clove (*Syzygium aromaticum*), peppermint (*Mentha piperita*) and tea tree (*Melaleuca alternifolia*) EOs were obtained from Ferquímica, babassu (*Attalea speciosa*) VA from Florestas Brasileiras, and cashew (*Anacardium occidentale*) nut shell liquid (CNSL) pure, added of sodium (Na-CNSL), or added of potassium (K-CNSL) from the LECOGEN Research Group at the Federal University of Grande Dourados (UFGD). The Fungicide Piori® (control) was purchased from Syngenta.

Table 1. Composition, obtaining method and source of the compounds evaluated for their antifungal activity.

Compound	Method	Source	Composition
Cravo (<i>Syzygium aromaticum</i>) EO	Destilation	Buds	Eugenol (84%), beta-caryophyllene (6%), eugenyl acetate (8%)
Menta (<i>Mentha piperita</i>) EO	Destilation	Buds	Menthol (35%), menthone (26%), isomenthone (5%), neomenthol (4%), methyl acetate (5%), 1,8-cineole (6%)
Tea tree (<i>Melaleuca alternifolia</i>) EO	Destilation	Leafs	Terpinene-4-ol (41%), 1,8-cineole (1%), γ -terpinene (21%), α -terpinene (9%), α -terpineol (4%), terpinolene (3%), α -pinene (3%), p-cymene (3%)
Babassu (<i>Attalea speciosa</i>) VO	Pressing	Fruits	Lauric acid (43-50%), myristic acid (15-18%), palmitic acid (6-10%), capric acid (4-6%), caprylic acid (0-5%), stearic acid (3-5%), oleic acid (12-19%), linoleic acid (1-3%)
CNSL (<i>Anacardium occidentale</i>)	Pressing	Fruits	Anacardic acids (65%), cardanol and cardol

Na-CNSL	-	-	Patented
K-CNSL	-	-	Patented
Fungicide Priori® (Syngenta)	-	-	Strobilurin, azoxystrobin, triazole, and cyproconazole

EO: Essential oil; VO: vegetable oil; CNSL: Cashew nut shell liquid; Na-CNSL: CNSL added of Na; K-CNSL added of K:

Fungi isolation and identification

The fungi were removed from small lesions measuring 0.5 cm² on papaya (*Carica papaya* L. var. Formosa) fruits at maturation stages 4 and 5, according to standard fruit color classification systems for papaya (Paull *et al.*, 2012) (Fig. 1). The fruit segments were then immersed in 1% hypochlorite for 1 min and in distilled water for another 1 min. They were distributed on petri dishes with Potato Dextrose Agar (PDA) culture medium and incubated for 7 days for purification and isolation (Pitt *et al.*, 2009) (Fig. 2).

Micro-cultivation was performed for fungi identification. For that, the spores were collected using a platinum loop and transferred to a slide with a PDA culture medium disc, where small amounts of spores were placed on the ends forming the symbol +, adding a coverslip on top of this disc. Both the slide and the coverslip were placed inside a Petri dish with filter paper moistened with sterile water. The slide was placed in an oven at 28°C for 4 ± 1 days. After this period, the coverslip was removed and placed on another slide with methylene blue dye and taken for observation under an optical microscope. The samples were then identified using the method GG-BM029 by DNA sequencing (ITS).

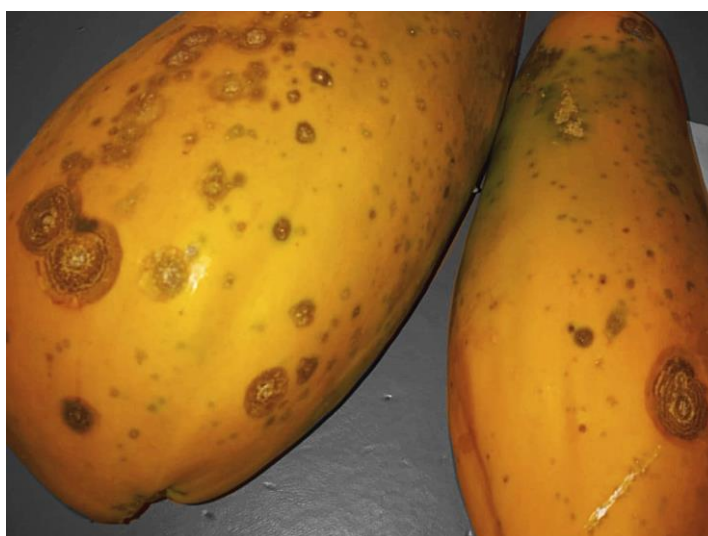


Figure 1. Papaya (*Carica papaya* L. var. Formosa) fruits containing lesions

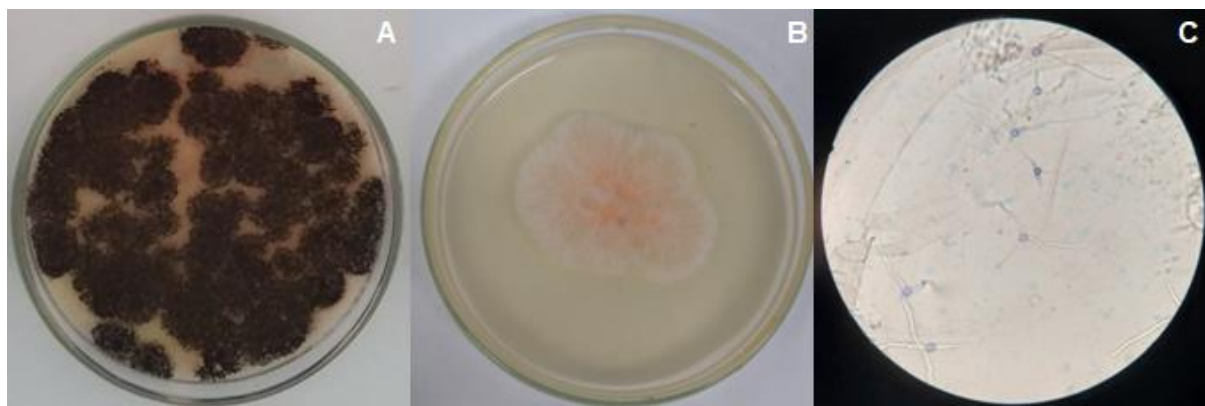


Figure 2. *Aspergillus* sp. (A) and *Colletotrichum gloeosporioides* (B) isolated from papaya fruits. Germinated spored visualized on the microscope (C). Source: Authors, 2023.

In vitro antifungal activity

The compounds (EOs, VA and CNSLs) had their in vitro antifungal activity tested in triplicate using the determination of the minimum inhibitory concentration (MIC) technique according to the methodology of the Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI, 2017). For that, inocula were prepared by the direct suspension in sterile 0.85% saline solution of a loopful of colonies isolated from a 7-days cultured PDA medium petri dish with the corresponding fungi previously incubated at 35 °C for 24 h. The isolated *Aspergillus* sp. and *Colletotrichum gloeosporioides* were the evaluated fungi. The optical density of the suspensions was adjusted using a spectrophotometer to 0.09 to 0.13 at 530 nm. The spore suspension was diluted in culture medium (Sabourad-dextrose broth at pH 7) at a ratio of 1:50. The analysis was performed in 96-well tissue culture plates. Inoculum-free wells were utilized as negative control. The plates were incubated for 46 to 50 h at 28°C. After this time, a 100 µL aliquot was transferred to petri dishes with 20 ml of PDA culture medium, homogenized with a Drigalski loop and incubated again in BOD at 28°C and the optical density was measured after 24 and 48 h.

Evaluation of the effect of antifungal compounds on the mycelial growth

The mycelial growth was evaluated according to the methodology described by dos Santos *et al.*, (2012), with modifications. The tests were performed in screw-capped test tubes added of 1 ml of spore solution prepared in sterile 0.85% saline solution with an optical density of 0.09 to 0.13 measured at 530 nm and 9 ml of Saboraud broth. The amounts of the compounds were determined based on the MIC results, considering one unit above and one below. The

tubes were then taken to BOD at 28°C. Triplicate samples of each treatment were removed on days 3, 5 and 7, where they were filtered through previously weighed filter paper. The filter with the filtrate was placed in a petri dish, also previously weighed. The samples were placed in an oven to dry at 60°C for 6 h and then at 40°C for more 18 h or until constant weight. The dried mycelial mass was weighed, discounting the initial weight (filter paper + petri dish).

2.5 Evaluation of the effect of antifungal compounds on the on the spore germination

The spore germination tests were performed according to the methodology described by Tian *et al.*, (2012) and dos Santos *et al.*, (2012) with modifications. For that, a spore solution was prepared in sterile 0.85% saline solution, with an optical density of 0.5 measured at 530 nm. 100 µL of the spore solution was added to a micro-centrifuge tube, followed by 2.5 µL, 5 µL or 10 µL of the antifungal compound, and then vortexed to homogenize. After stirring, 10 µL of this solution was placed on the well-sealed slides and 10 µL of PDA culture medium was added. The coverslips were placed on top, and 1000 µL of sterilized distilled water was added. The petri dishes were closed and placed in an oven at 28°C for 20 h. The petri dishes with filter paper, the slide with the cavities and the coverslips were packed and autoclaved prior to the test. After the incubation period, methylene blue dye was added, and it was observed under an optical microscope whether the spores had germinated. During the observation under the microscope, 100 spores were randomly selected, and the germinated and non-germinated spores were counted (Fig 2C).

2.6 Statistical analysis

Statistical results were evaluated through analysis of variance (ANOVA) and the Tukey's test for comparison of means, at a level of 5% of significance, using the statistical software Statistica 7.0. The evaluations were performed from data obtained in triplicates, and the results were presented by the mean $\pm$ standard deviation.

RESULTS AND DISCUSSION

***In vitro* antifungal activity**

The effects of different concentrations of oils on fungal mycelial growth are shown in Fig. 3. The Minimum Inhibitory Concentration (MIC) of the oils used in mycelial growth was more prominent at the highest concentrations (generally $> 20 \mu\text{g/mL}$) used, and they can be considered fungistatic (Allizond *et al.*, 2023), except for clove oil, which even at the lowest

concentrations (5 µg/mL) already showed fungicidal activity. The inhibition rate (> 70%) was observed in most oils at concentrations above 20 µg/mL (Fig. 3).

Clove essential oil demonstrated significant inhibition for both fungi, with increasing efficacy as the concentration increased, reaching 100% at concentrations above 5 µg/mL. Clove essential oil (rich in eugenol) is known for its antifungal properties. Studies indicate that it disrupts the cell membrane of fungi and inhibits spore production, resulting in high efficiency in inhibiting different species of fungi (Biernasiuk *et al.*, 2023). Clove essential oil has been reported to have strong activity against phytopathogenic fungi (Kaur *et al.*, 2019).

Peppermint oil demonstrates high efficacy, especially against *C. gloeosporioides*, with 100% inhibition at concentrations above 15 µg/mL. However, for *Aspergillus* sp., the concentration for 100% inhibition was above 110 µg/mL (Fig. 3). Peppermint oil contains menthol and other compounds that act as antifungal agents. These components disrupt the integrity of the cell membrane and inhibit metabolic processes essential for fungal growth. The literature reports moderate to high efficiency against *Colletotrichum* spp., including ~90% inhibition against *C. gloeosporioides* at a concentration of 1125 µg/mL (Braga *et al.*, 2019).

Tea tree oil showed moderate inhibition, with greater efficacy against *C. gloeosporioides*, reaching 100% inhibition at concentrations above 28 µg/mL. However, for *Aspergillus* sp., the inhibition did not exceed 90% even at the highest concentrations used in the tests (Fig. 3). Tea tree oil, rich in terpenes, is widely used for its antifungal and antimicrobial properties. It causes damage to the cell membrane, increasing its permeability, which causes cell death. High efficiency of this essential oil was reported against *Colletotrichum* sp. (Gonçalves *et al.*, 2023) and *Aspergillus* sp. (Kong *et al.*, 2019).

Babassu oil showed increasing efficacy with concentration, achieving 80% inhibition of *C. gloeosporioides* and 75% of *Aspergillus* sp., at the highest concentrations used in the tests (Fig. 3), indicating increased inhibition with increasing concentration of this oil. Babassu oil contains lauric acid, which has been shown in previous studies to have antimicrobial properties. In addition, studies suggest that it can affect fungal cell structure and inhibit spore germination (Barbosa *et al.*, 2022). Research reported by Viana *et al.*, (2022) revealed potential antifungal action in in vitro tests with *Candida* sp., depending on the concentration of this oil.

CNSL showed greater efficacy against *C. gloeosporioides*, but did not achieve 100% inhibition for any of the fungi used, at any of the concentrations tested. Na-CNSL showed significant inhibition for both fungi, especially at higher concentrations. It achieved 100% inhibition against *C. gloeosporioides* at a concentration of 140 µg/mL. However, it did not exceed 60% inhibition against *Aspergillus* sp. The presence of sodium may have aided the

inhibition values due to its ability to influence the solubility of the compound and facilitate interaction with the fungal cell membrane, enhancing the action of CNSL (Sharma *et al.*, 2012). Regarding K-CNSL, the observed inhibition was moderate, with increasing efficacy with concentration. However, inhibition did not reach 100% against any of the fungi. K-CNSL contains anacardic acid, cardol, and cardanol, which have known antimicrobial and antifungal activities; its aliphatic chain facilitates penetration into microorganisms, while the phenolic groups act on amino acids and energy synthesis, and can act as membrane disruptors, altering permeability and inhibiting growth, revealing its potential as an antifungal agent (Garcia *et al.*, 2018; Oke *et al.*, 2024). In this study, LCCts, although effective in some concentrations, presented reduced results in the inhibition tests, possibly due to the concentrations applied in the experiments. The literature reports that higher concentrations, such as 320 µg/mL, can provide quite significant inhibition values (Garcia *et al.*, 2018).

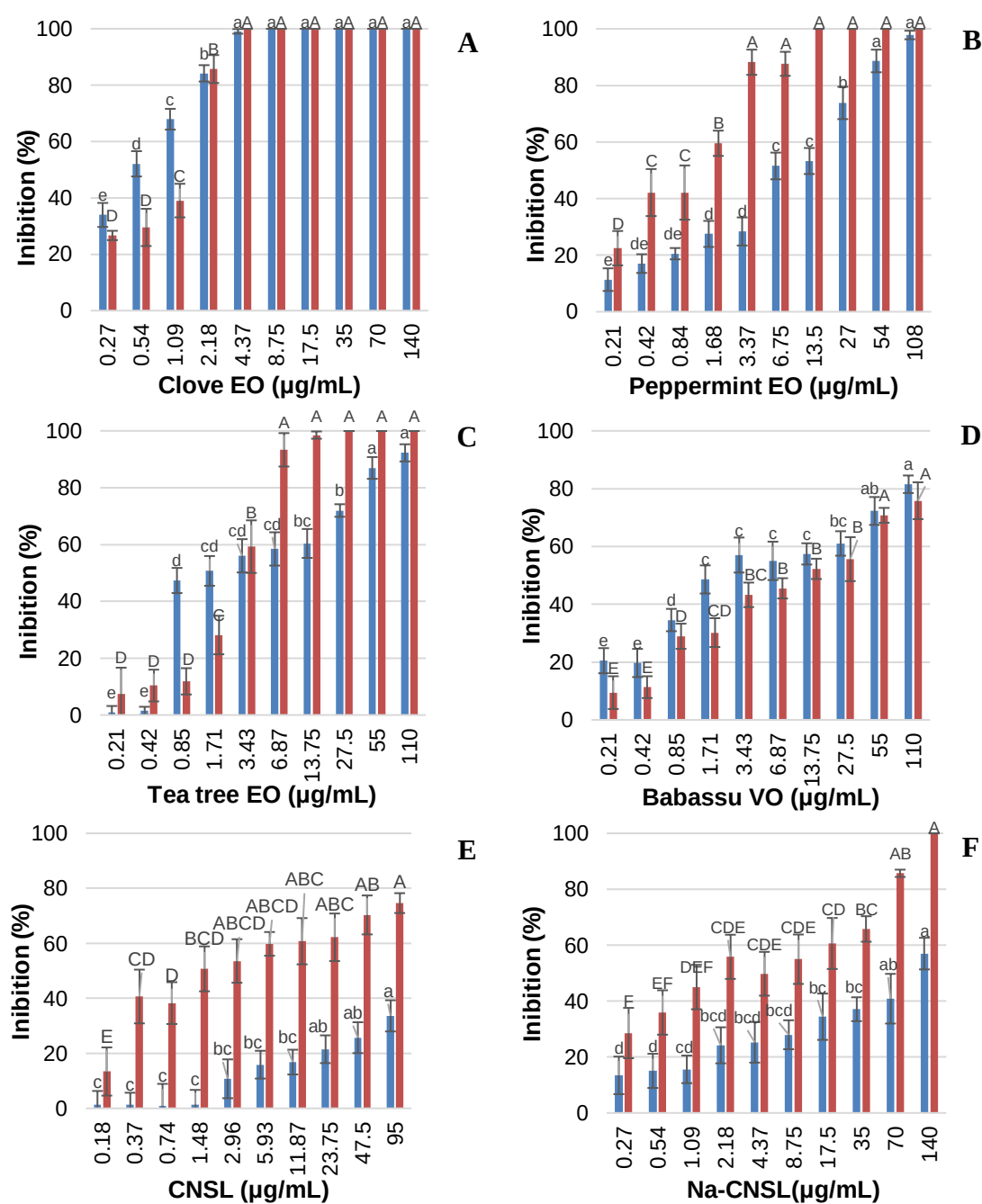
Finally, the commercial fungicide was highly effective, even at low concentrations, almost completely inhibiting the development of both fungi. Chemical fungicides such as Priori® (based on strobilurins) are developed to inhibit fungal growth and interfere with the mitochondrial respiratory chain (Zhang *et al.*, 2020). In this way, they become highly effective but can lead to increased fungal resistance if used continuously (Mohiddin *et al.*, 2021).

In general, essential and vegetable oils and CNSLs demonstrate potential as antifungal agents, but their efficacy varied depending on the type of oil and the concentration used (Teodoro *et al.*, 2019). Oils such as clove and mint demonstrated greater potential, even at lower concentrations. Although CNSL and its variants showed inhibition potential, they required higher concentrations to reach the same level as the commercial fungicide.

As for fungal resistance, *Aspergillus* sp. demonstrated greater overall resistance to the compounds tested, especially at lower concentrations (Fig. 3). This fungus has a robust cell wall structure and efficient defense mechanisms, such as the production of enzymes that degrade antifungal compounds and the production of resistant spores (Beauvais *et al.*, 2017). *C. gloeosporioides* was less resistant because it had fewer physical and chemical barriers when compared to *Aspergillus* sp. (Peralta-Ruiz *et al.*, 2023), making it more susceptible to antifungal agents.

Regarding the MIC, the value obtained for clove essential oil was 2.18 µg/mL for both fungi, and fungicidal behavior was observed above this concentration. For peppermint essential oil, the MIC was 3.37 µg/mL for *C. gloeosporioides* and 27 µg/mL for *Aspergillus* sp. Fungicidal action was only observed for *C. gloeosporioides* at concentrations above 13.5 µg/mL. The tea tree essential oil presented MIC of 6.87 µg/mL for *C. gloeosporioides* and 27.5

$\mu\text{g/mL}$ for *Aspergillus* sp. The fungicidal action was observed only with *C. gloeosporioides* at concentration above $27.5 \mu\text{g/mL}$. In babassu oil, the MIC was $55 \mu\text{g/mL}$ for *C. gloeosporioides* and $27.5 \mu\text{g/mL}$ for *Aspergillus* sp. None of the concentrations used presented fungicidal results. CNSL presented MIC of $5.93 \mu\text{g/mL}$ for *C. gloeosporioides* and $95 \mu\text{g/mL}$ for *Aspergillus* sp. Na-CNSL presented MIC of $17.5 \mu\text{g/mL}$ for *C. gloeosporioides* and $140 \mu\text{g/mL}$ for *Aspergillus* sp. K-CNSL presented MIC of $53 \mu\text{g/mL}$ for *C. gloeosporioides* and $106 \mu\text{g/mL}$ for *Aspergillus* sp. None of the concentrations of CNSL, na-CNSL and K-CNSL used presented fungicidal results (Fig. 3).



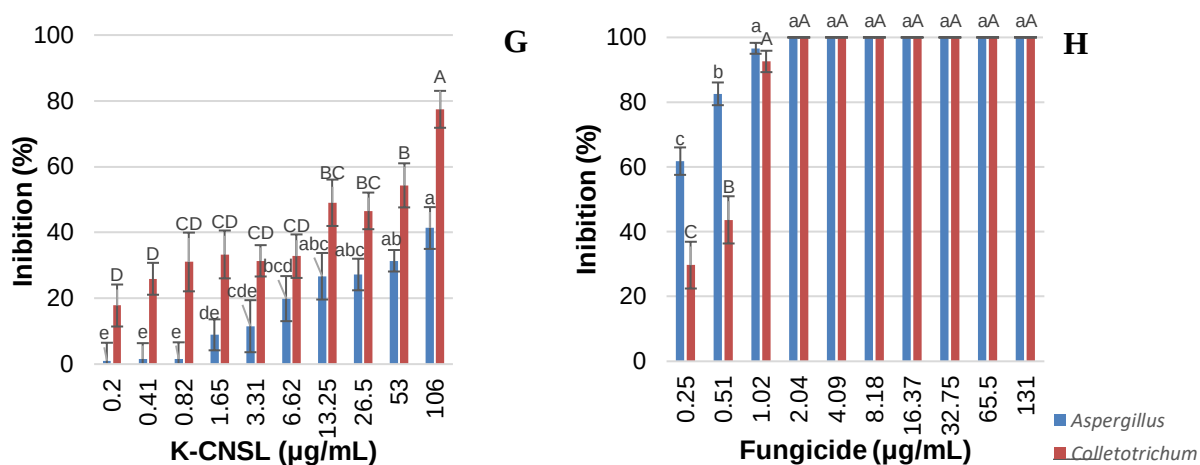


Figure 3. In vitro minimum inhibitory concentration (MIC) of the fungi *Aspergillus* sp. and *Colletotrichum gloeosporioides* evaluated in clove (A), peppermint (B), and tea tree (C) essential oils (EOs), babassu vegetal oil (VO) (D), cashew nut shell liquid (CNSL) (E), CNSL added of Na (Na-CNSL) (F), CNSL added of K (Na-CNSL) (G), and commercial fungicide (H).

Action of oils on the growth of mycelia

Based on the MIC results, the concentrations to be used were determined for clove, mint and tea tree oils, babassu vegetable oil and the CNSLs used to measure the growth of fungal mycelial mass.

On day 3, tea tree oil obtained the best results, followed by K-CNSL, which presented values above or very close to 50% inhibition. Na-CNSL did not show any inhibition. On day 5, clove and mint oils were the ones that showed the best inhibition, showing a considerable increase in the inhibition of fungal growth, with values above 60%. Tea tree oil showed progress compared to day 3, with an inhibition rate above 70%, despite the concentration of 55µg/mL being 36% on day 5, which may be due to many variables to be considered, such as the amount of nutrients in the broth and the amount of spores pipetted. K-CNSL demonstrated the lowest inhibition, not exceeding 30%. On day 7, clove oil showed the best inhibition, followed by peppermint oil and tea tree oil, respectively. The oil that demonstrated the lowest inhibition on the last day of analysis was Na-CNSL (Figs. 4 and 5).

Clove essential oil showed significant inhibition of mycelial growth of *Aspergillus* sp. at all concentrations tested, with greater efficacy observed at 4 µg/mL. The maximum concentration (140 µg/mL) showed almost complete exposure, inhibiting up to 88% of growth (Fig. 4). Similar to *Aspergillus* sp., clove oil showed almost total inhibition at high concentrations, being one of the most effective in controlling the growth of *C. gloeosporioides*, inhibiting 95% of growth (Fig. 5).

Peppermint oil showed moderate inhibition against *Aspergillus* sp. However, this increased with concentration and exposure time (Fig. 4). Against *C. gloeosporioides*, inhibition

was significant at higher concentrations and with longer exposure times (Fig. 5). For both fungi, the inhibitory effect was less pronounced compared to clove essential oil.

Tea tree essential oil showed representative prevention over the days, especially at higher concentrations (55 µg/mL and 110 µg/mL) against *Aspergillus* sp. (Fig. 4). Against *C. gloeosporioides*, it showed high efficacy in preventing mycelial growth, with significant results at higher concentrations (Fig. 5), inhibiting the formation and growth of hyphae similar to that observed in *Aspergillus* sp.

Babassu oil showed limited and variable inhibitory effect against *Aspergillus* sp. (Fig. 4). Despite a slight increase with increasing concentration and exposure time, the effect was less than that offered by other oils. Against *C. gloeosporioides*, the efficacy was lower and variable, even with higher concentrations and more days of treatment (Fig. 5), indicating a greater or lesser resistance of the components of babassu oil in affecting the growth of this fungus.

Regarding the cashew nut shell liquids (CNSL, Na-CNSL, K-CNSL), in general, CNSL showed low efficacy in inhibiting mycelial growth, which did not exceed 50%. Na-CNSL showed improved efficacy compared to pure CNSL, while K-CNSL showed similar efficacy to pure CNSL. Thus, the concentration of active compounds can be considered insufficient for significant inhibition (Figs. 4 and 5). The addition of sodium can increase solubility and interaction with fungal cells, while the presence of potassium can help in inhibition, although it is not as effective as sodium.

Pure CNSL and its variants with sodium (Na-CNSL) and potassium (K-CNSL) had lower inhibitory effects against *Aspergillus* sp., when compared to the oils, with a slight increase at higher concentrations (Fig. 4). Studies indicate that the phenolic content of CNSL may have some antimicrobial action (Souza *et al.*, 2022), but the addition of ions such as Na and K did not result in a significant increase ($p > 0.05$) in the inhibition of mycelial growth. On the other hand, these compounds showed greater inhibition against *C. gloeosporioides* when compared to *Aspergillus* sp., possibly due to the greater structural resistance of the latter (Latgé, 2020).

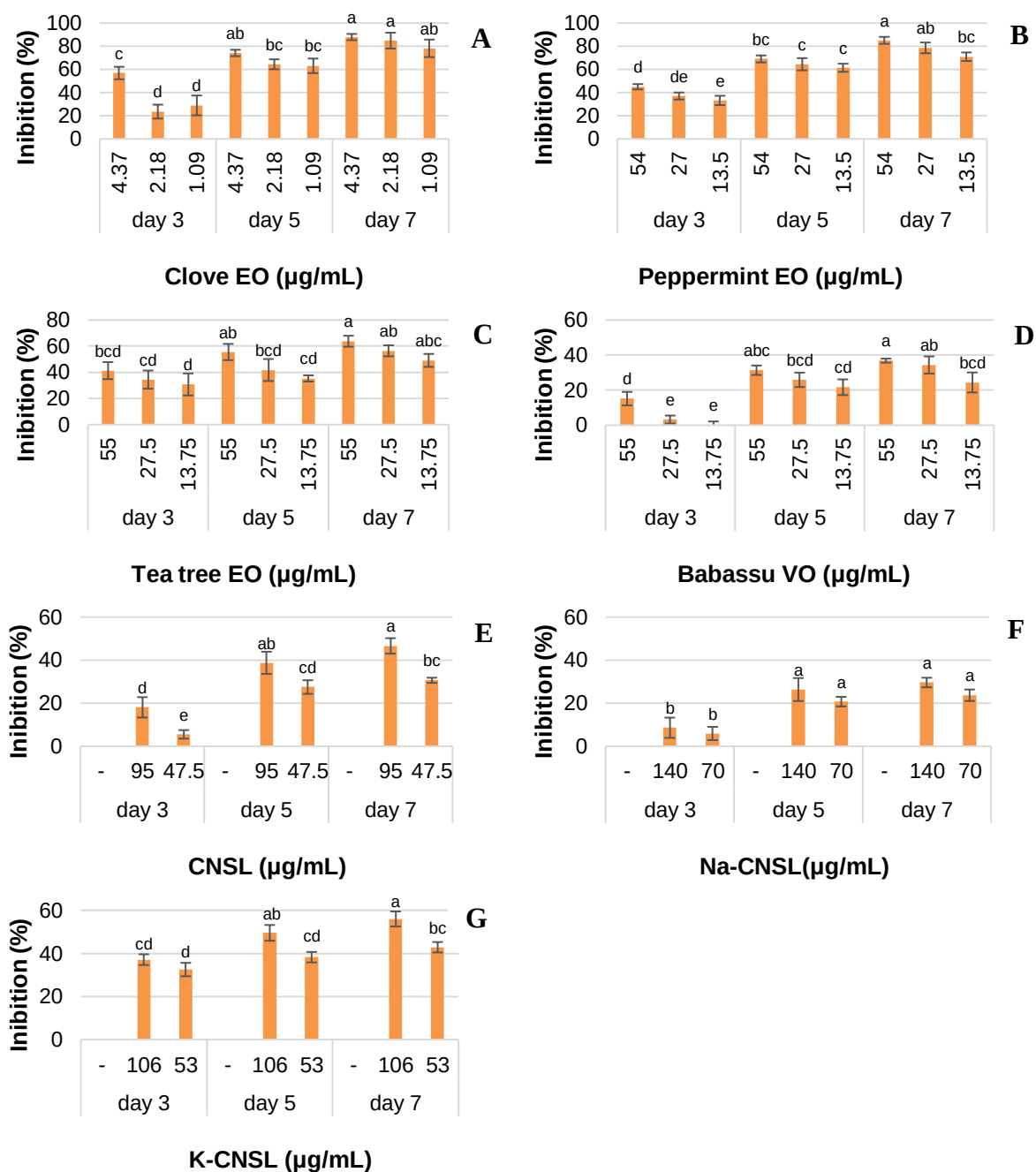


Figure 4. Inhibition of the mycelial mass growth of the fungus *Aspergillus* sp. evaluated in clove (A), peppermint (B), and tea tree (C) essential oils (EOs), babassu vegetal oil (VO) (D), cashew nut shell liquid (CNSL) (E), CNSL added of Na (Na-CNSL) (F), and CNSL added of K (Na-CNSL) (G).

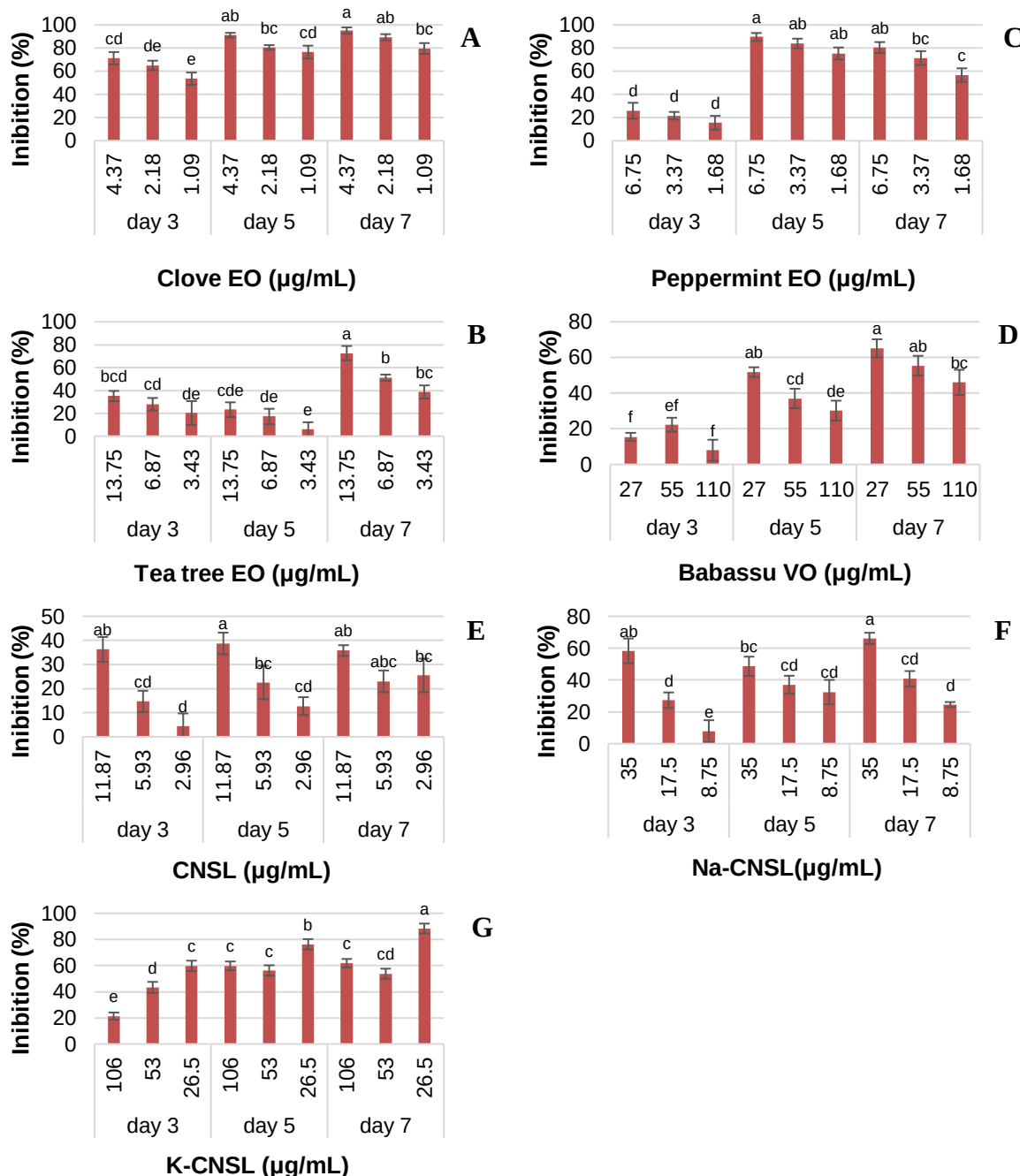


Figure 5. Inhibition of the mycelial mass growth of the fungus *Colletotrichum gloeosporioides* evaluated in clove (A), peppermint (B), and tea tree (C) essential oils (EOs), babassu vegetal oil (VO) (D), cashew nut shell liquid (CNSL) (E), CNSL added of Na (Na-CNSL) (F), and CNSL added of K (Na-CNSL) (G).

Action of oils on spore germination

Overall, the oils tested in this study showed different antifungal efficacies against in vitro germination of *Aspergillus* sp. and *C. gloeosporioides* spores, depending on the dose. Treatment with clove essential oil drastically suppressed spore germination at the lowest dose used. Spore germination was strongly inhibited at concentrations of 5 and 10 $\mu\text{g/mL}$ by tea tree and peppermint essential oils. Babassu oil was less effective in reducing spore germination

compared to the other oils, so that it was not able to completely suppress spore germination even at the highest dose used in this study (10 µg/ml). The CNSLs used demonstrated low and similar antifungal activities against spore germination. It was observed that these compounds practically did not inhibit spore germination at the doses used in the test (Fig. 6).

Clove essential oil showed high inhibition of spore germination at 2.5 µL. For both fungi, clove oil showed total or almost total inhibition at all concentrations tested (2.5 µL, 5 µL and 10 µL) (Fig. 6). This reinforces the idea that eugenol is a highly effective compound, acting as a disruptor of the fungal cell membrane (Aliabasi *et al.*, 2023). Previous studies have shown that the presence of eugenol, the main compound in clove oil, disrupts the integrity of fungal cell membranes, causing their disintegration and rupture (Rana *et al.*, 2011; Kaur *et al.*, 2019). This effect extends to the synthesis of ochratoxin A, whose downregulation occurs from 150 µg/mL (Hu *et al.*, 2018).

Peppermint essential oil showed variable efficacy in spore germination. These values were low compared to clove and tea tree essential oils, especially at lower concentrations. Inhibition was more evident at concentrations of 10 µL (Fig. 6). Previous studies demonstrate that menthol, eucalyptol and menthone, present in peppermint oil, interfere with the metabolism and osmotic balance of the fungus, inhibiting its growth, as well as the integrity of the cell membrane, leading to the death of the organism (Makkar *et al.*, 2018). However, the effect is not as penetrating compared to more aggressive compounds (eugenol and terpenes) (Braga *et al.*, 2019).

Tea tree essential oil was highly effective against both fungi, demonstrating fungistatic action at concentrations above 1.71 µg/mL, similar to other essential oils. Terpinen-4-ol and α -terpineol are known for their ability to penetrate and interfere with the vital processes of fungi, penetrating fungal cells, causing leakage of intracellular components (Tonifo-Rivera *et al.*, 2020). Similar to clove essential oil, tea tree essential oil is highly effective in inhibiting spore germination (Shao *et al.*, 2013). The literature reports that the terpenes present in tea tree oil destabilize the cell membrane of fungi through a dose-dependent mechanism (Kong *et al.*, 2019; Gonçalves *et al.*, 2023).

Babassu oil showed inhibition of spore germination of 38% for *Aspergillus* sp. (Fig. 4) and over 51% for *C. gloeosporioides* (Fig. 5), conferring distinct profiles between the fungi. The limited action of babassu oil can be explained by its composition rich in fatty acids, which, although they have antimicrobial properties, are not as potent against fungi (Makkar *et al.*, 2018). Thus, it was observed that the efficacy of babassu oil was lower than that of essential oils (Fig. 6). The observed effect can be attributed to the presence of fatty acids, such as lauric

acid, which have antimicrobial properties, although less intense than those of phenolic compounds and terpenes (Mangalagiri *et al.*, 2020). Previous studies have shown that the oil is effective against Gram-positive bacteria (Viana *et al.*, 2024), and that in the case of fungi, reduced growth inhibition is reflected in lower inhibition of spore formation (Puvaca *et al.*, 2021).

Pure CNSL showed moderate efficacy in inhibiting spore germination in both fungi (Fig. 6). Due to the presence of anacardic acid, which contains an aliphatic chain, permeation through the membrane to inactivate energy synthesis enzymes is facilitated, thus causing fungitoxic potential (Souza *et al.*, 2022). Thus, greater efficacies are obtained at higher concentrations of this compound (Garcia *et al.*, 2018). Meanwhile, Na-CNSL was slightly more effective than K-CNSL and pure CNSL (Fig. 6). Thus, the addition of sodium may improve penetration and interaction with spores, while potassium did not, since K-CNSL was less effective among CNSLs. Furthermore, the inhibitory effect of these compounds was much lower compared to essential oils. It was observed that, even at higher concentrations, the inhibition efficacy was limited, demonstrating that the active components are not as efficient in disrupting the fungal membranes or the spore germination control when compared to essential oils (Fig. 6). Thus, ionic alteration by adding sodium or potassium, although it can alter efficacy, is not as effective as other inhibition methods. Thus, essential oils represent the most viable options for controlling fungal spore germination. However, the development of optimized combinations and formulations can expand the effective use of these compounds in practical applications.

Action of oils on spore germination

Overall, the oils tested in this study showed different antifungal efficacies against *in vitro* germination of *Aspergillus* sp. and *C. gloeosporioides* spores, depending on the dose. Treatment with clove essential oil drastically suppressed spore germination at the lowest dose used. Spore germination was strongly inhibited at concentrations of 5 and 10 µg/ml by tea tree and peppermint essential oils. Babassu oil was less effective in reducing spore germination compared to the other oils, so that it was not able to completely suppress spore germination even at the highest dose used in this study (10 µg/ml). The CNSLs used demonstrated low and similar antifungal activities against spore germination. It was observed that these compounds practically did not inhibit spore germination at the doses used in the test (Fig. 6).

Clove essential oil showed high inhibition of spore germination at 2.5 µL. For both fungi, clove oil showed total or almost total inhibition at all concentrations tested (2.5 µL, 5 µL

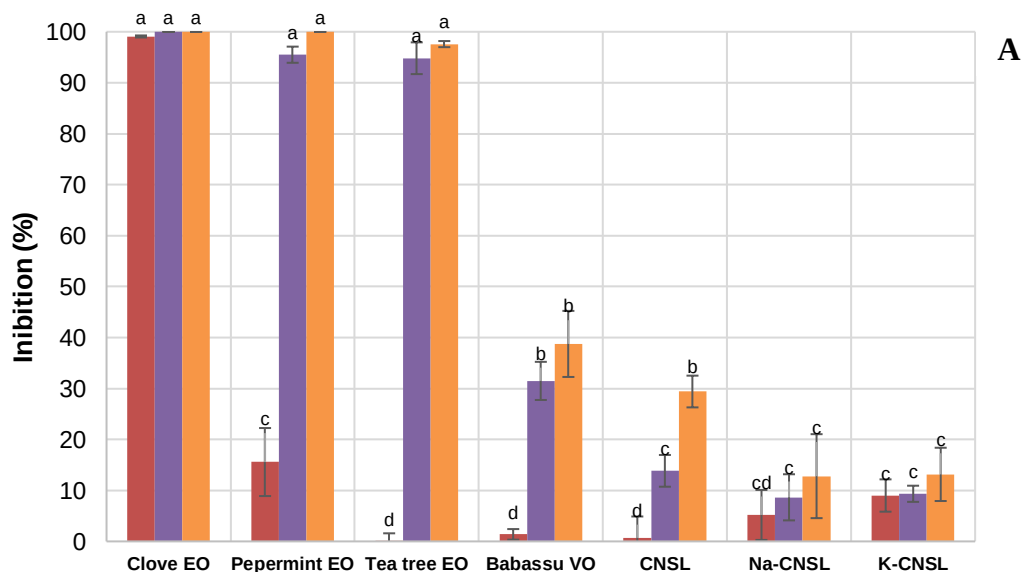
and 10 μL) (Fig. 6). This reinforces the idea that eugenol is a highly effective compound, acting as a disruptor of the fungal cell membrane (Aliabasi *et al.*, 2023). Previous studies have shown that the presence of eugenol, the main compound in clove oil, disrupts the integrity of fungal cell membranes, causing their disintegration and rupture (Rana *et al.*, 2011; Kaur *et al.*, 2019). This effect extends to the synthesis of ochratoxin A, whose downregulation occurs from 150 $\mu\text{g/mL}$ (Hu *et al.*, 2018).

Peppermint essential oil showed variable efficacy in spore germination. These values were low compared to clove and tea tree essential oils, especially at lower concentrations. Inhibition was more evident at concentrations of 10 μL (Fig. 6). Previous studies demonstrate that menthol, eucalyptol and menthone, present in peppermint oil, interfere with the metabolism and osmotic balance of the fungus, inhibiting its growth, as well as the integrity of the cell membrane, leading to the death of the organism (Makkar *et al.*, 2018). However, the effect is not as penetrating compared to more aggressive compounds (eugenol and terpenes) (Braga *et al.*, 2019).

Tea tree essential oil was highly effective against both fungi, demonstrating fungistatic action at concentrations above 1.71 $\mu\text{g/mL}$, similar to other essential oils. Terpinen-4-ol and α -terpineol are known for their ability to penetrate and interfere with the vital processes of fungi, penetrating fungal cells, causing leakage of intracellular components (Tonifo-Rivera *et al.*, 2020). Similar to clove essential oil, tea tree essential oil is highly effective in inhibiting spore germination (Li *et al.*, 2021). The literature reports that the terpenes present in tea tree oil destabilize the cell membrane of fungi through a dose-dependent mechanism (Kong *et al.*, 2019; Gonçalves *et al.*, 2023).

Babassu oil showed inhibition of spore germination of 38% for *Aspergillus* sp. (Fig. 4) and over 51% for *C. gloeosporioides* (Fig. 5), conferring distinct profiles between the fungi. The limited action of babassu oil can be explained by its composition rich in fatty acids, which, although they have antimicrobial properties, are not as potent against fungi (Makkar *et al.*, 2018). Thus, it was observed that the efficacy of babassu oil was lower than that of essential oils (Fig. 6). The observed effect can be attributed to the presence of fatty acids, such as lauric acid, which have antimicrobial properties, although less intense than those of phenolic compounds and terpenes (Mangalagiri *et al.*, 2020). Previous studies have shown that the oil is effective against Gram-positive bacteria (Viana *et al.*, 2024), and that in the case of fungi, reduced growth inhibition is reflected in lower inhibition of spore formation (Puvaca *et al.*, 2021).

Pure CNSL showed moderate efficacy in inhibiting spore germination in both fungi (Fig. 6). Due to the presence of anacardic acid, which contains an aliphatic chain, permeation through the membrane to inactivate energy synthesis enzymes is facilitated, thus causing fungitoxic potential (Souza *et al.*, 2022). Thus, greater efficacies are obtained at higher concentrations of this compound (Garcia *et al.*, 2018). Meanwhile, Na-CNSL was slightly more effective than K-CNSL and pure CNSL (Fig. 6). Thus, the addition of sodium may improve penetration and interaction with spores, while potassium did not, since K-CNSL was less effective among CNSLs. Furthermore, the inhibitory effect of these compounds was much lower compared to essential oils. It was observed that, even at higher concentrations, the inhibition efficacy was limited, demonstrating that the active components are not as efficient in disrupting the fungal membranes or the spore germination control when compared to essential oils (Fig. 6). Thus, ionic alteration by adding sodium or potassium, although it can alter efficacy, is not as effective as other inhibition methods. Thus, essential oils represent the most viable options for controlling fungal spore germination. However, the development of optimized combinations and formulations can expand the effective use of these compounds in practical applications.



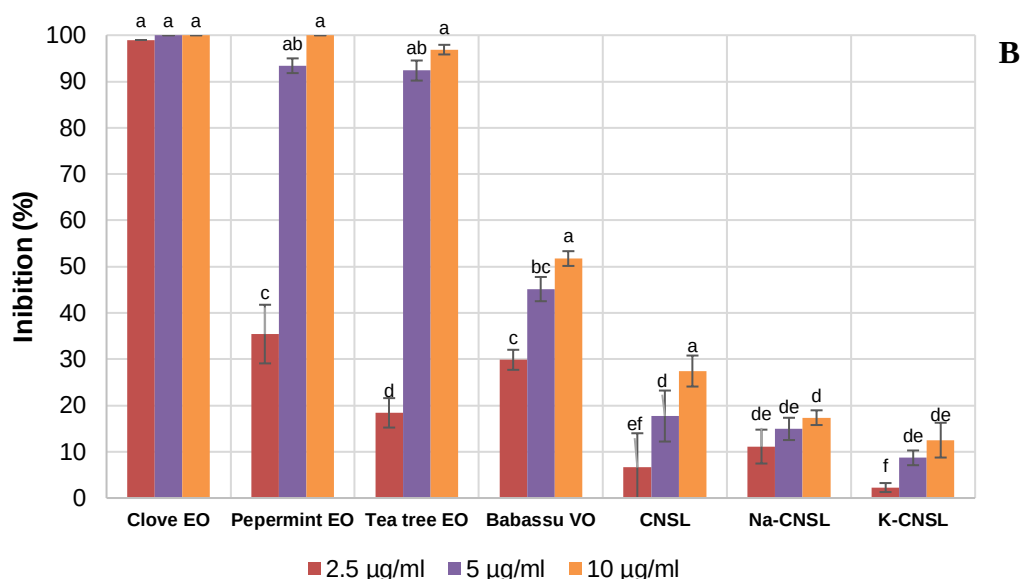


Figure 6. Effect of three different concentration (2.5, 5.0 and 10 µg/ml) of clove, peppermint, and tea tree essential oils (EOs), babassu vegetal oil (VO), cashew nut shell liquid (CNSL), CNSL added of Na (Na-CNSL), and CNSL added of K (K-CNSL) on the spore germination of the fungi *Aspergillus sp.* (A) and *Colletotrichum gloeosporioides* (B).

CONCLUSION

In this study, clove essential oil consistently demonstrated the highest antifungal activity, exhibiting promising fungicidal potential even at low concentrations against both *Aspergillus sp.* and *Colletotrichum gloeosporioides*. Peppermint essential oil also showed significant efficacy, primarily acting as a fungistatic agent. While Tea Tree oil, Babassu oil, and the various CNSLs (pure, Na-CNSL, and K-CNSL) presented varied degrees of inhibition, their effectiveness was generally more pronounced at higher concentrations compared to clove and peppermint oils, or when compared to the commercial fungicide.

Specifically, *Aspergillus sp.* generally displayed greater resistance to the tested compounds, likely due to its robust cell wall structure and sophisticated defense mechanisms. Conversely, *C. gloeosporioides* proved more susceptible, indicating fewer intrinsic barriers against these natural agents.

The findings highlight the significant potential of essential and vegetable oils, as well as CNSLs, as viable and eco-friendly alternatives for fungal control in food safety, offering a promising alternative to conventional synthetic fungicides. The observed fungicidal action of clove oil at low concentrations, and the strong fungistatic effects of peppermint and tea tree oils, underscore their capacity for effective fungal management. However, further research is

crucial to fully elucidate the precise mechanisms of action of these oils and their individual constituents.

REFERENCES

- ALIABASI, S., Shams-Ghahfarokhi, M., & Razzaghi-Abyaneh, M. (2023). Eugenol effectively inhibits *Trichophyton rubrum* growth via affecting ergosterol synthesis, keratinase activity, and SUB3 gene expression. *Journal of Herbal Medicine*, 42, 100768. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2023.100768>
- ALLIZOND, V., Cavallo, L., Roana, J., Mandras, N., Cuffini, A. M., Tullio, V., & Banche, G. (2023). *In vitro* antifungal activity of selected essential oils against drug-resistant clinical *Aspergillus* spp. strains. *Molecules*, 28(21), 7259. <https://doi.org/10.3390/molecules28217259>
- BARBOSA, B. V. D. R., de Amorim, L. C., da Silva, P. M., & da Silva, M. V. (2022). Antioxidant activity, physicochemical characterization and study of the bioactivity of fixed oil of *Attalea speciosa* Mart. ex Spreng (Arecaceae) against fungal pathogens. *Research, Society and Development*, 11(7), e3030711284. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i7.30307>
- BEAUVAIS, A., Chamilos, G., & Latgé, J. (2017). The cell wall of the human fungal pathogen *Aspergillus fumigatus*: Biosynthesis, organization, immune response, and virulence. *Annual Review of Microbiology*, 71, 99-116. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-030117-020406>
- BIERNASIUK, A., Baj, T., & Malm, A. (2023). Clove essential oil and its main constituent, eugenol, as potential natural antifungals against *Candida* spp. alone or in combination with other antimycotics due to synergistic interactions. *Molecules*, 28(1), 215. <https://doi.org/10.3390/molecules28010215>
- BRAGA, S. P., Lundgren, G. A., Macedo, S. A., Tavares, J. F., Vieira, W. A. S., Câmara, M. P. S., & de Souza, E. L. (2019). Application of coatings formed by chitosan and *Mentha* essential oils to control anthracnose caused by *Colletotrichum gloeosporioides* and *C. brevisporum* in papaya (*Carica papaya* L.) fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139, 631-639. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.010>
- BRUM, R. B. C. S., de Castro, H. G., Cardon, C. H., Pereira, A. S., Cardoso, D. P., & dos Santos, G. R. (2017). Antifungal activity of essential oils on pathogenic fungi. *Magistra*, 26(3), 361-371. <https://www3.ufrb.edu.br/index.php/magistra/article/view/3991>
- CAMARGO, R. B., Terao, D., Peixoto, A. R., Ono, E. O., Cavalcanti, L. S., & da Costa, R. M. (2012). Modified atmosphere in preserving the quality of 'Thompson Seedless' grapes and reducing *Aspergillus* rot. *Summa Phytopathologica*, 38(3), 216-222. <https://doi.org/10.1590/S0100-54052012000300006>
- CARSON, C. F., Hammer, K. A., & Riley, T. V. (2006). *Melaleuca alternifolia* (Tea Tree) oil: a review of antimicrobial and other medicinal properties. *Clinical Microbiology Reviews*, 19(1), 50-62. <https://doi.org/10.1128/CMR.19.1.50-62.2006>

Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). (2017). *Performance standards for antimicrobial susceptibility testing: Twenty-seventh informational supplement* (CLSI document M100-S27). Wayne, PA: CLSI.

DA SILVA, M. N., Fonseca, J. M., Feldhaus, H. K., Soares, L. S., Valencia, G. A., de Campos, C. E., Maduro, Di Luccio, M., & Monteiro, A. R. (2019). Physical and morphological properties of hydroxypropyl methylcellulose films with curcumin polymorphs. *Food Hydrocolloids*, 97, 105217. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105217>

DA SILVA, R. M., Brito, S. S. S., do Carmo, C. O., & Soares, A. C. F. (2019). Control of *Aspergillus welwitschiae* and red rot with liquid disfigmentation residue from sisal leaves. *Revista Ciência Agrícola*, 17(3), 13-21. <https://doi.org/10.28998/rca.v17i3.7697>

DESAM, N., Mylabathula, M., Gowkanapalli, R., Al-Rajab, A., Sharma, M., & Albratty, M. (2017). Chemical constituents, in vitro antibacterial and antifungal activity of *Mentha*×*Piperita* L. (peppermint) essential oils. *Journal of King Saud University – Science*, 31(4), 528-533. <https://doi.org/10.1016/J.JKSUS.2017.07.013>

DOS SANTOS, N. S. T., Aguiar, A. J. A. A., de Oliveira, C. E. V., de Sales, C. V., de Melo e Silva, S., da Silva, R. S., Stamford, T. C. M., & de Souza, E. L. (2012). Efficacy of the application of a coating composed of chitosan and *Origanum vulgare* L. essential oil to control *Rhizopus stolonifer* and *Aspergillus niger* in grapes (*Vitis labrusca* L.). *Food Microbiology*, 32(2), 345-353. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2012.07.014>

FERRÃO, S. K., Butzge, J., Mezzomo, L., Apel, M., Mezzari, A., & Limberger, R. P. (2020). Antifungal activity of essential oils against *Candida* spp. *Brazilian Journal of Health Review*, 3(1), 100-113. <https://doi.org/10.34119/bjhrv3n1-007>

FERREIRA, E. M. S., Malta, C. M., Bicalho, J. O., & Pimenta, R. S. (2018). A safe method to control the anthracnose in papaya. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(3), e-683. <https://doi.org/10.1590/0100-29452018683>

GARCIA, N. Z. T., Barbosa, G. F., Matias, R., Pedrinho, D. R., Bono, J. A. M., & Martini, D. (2018). Antifungal potential of cashew nut shell liquid in the control of plant pathogens. *Bioscience Journal*, 34(1), 95-103. <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v34n1a2018-36695>

GONÇALVES, D. C., Ribeiro, W. R., Gonçalves, D. C., Dian, V. S., Xavier, A. S., de Oliveira, Á. A., Menini, L., & Costa, H. (2023). Use of *Melaleuca alternifolia* essential oil as an efficient strategy to extend the shelf life of banana fruits. *Biochemical Systematics and Ecology*, 108, 104641. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2023.104641>

HASSAN, O., Al-Obeed, R. S., Al-Dhaheri, H. S., Al-Hashel, S., Al-Ameri, A. M., Al-Rashdi, S. N., ... & Lee, D. H. (2018). Molecular and morphological characterization of *Colletotrichum* species in the *Colletotrichum gloeosporioides* Complex associated with persimmon anthracnose in South Korea. *Plant Disease*, 102(3), 549-559. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-17-1564-RE>

HU, Q., Zhou, M., & Wei, S. (2018). Progress on the antimicrobial activity research of clove oil and eugenol in the food antisepsis field. *Concise Reviews & Hypotheses in Food Science*, 83(6), 1476-1483. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14180>

KAUR, K., Kaushal, S., & Rani, R. (2019). Chemical composition, antioxidant and antifungal potential of clove (*Syzygium aromaticum*) essential oil, its major compound and its derivatives. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 22(5), 1195-1217. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2019.1688689>

KONG, Q., Zhang, L., An, P., Qi, J., Yu, X., Lu, J., & Ren, X. (2019). Antifungal mechanisms of α -terpineol and terpene-4-alcohol as the critical components of *Melaleuca alternifolia* oil in the inhibition of rot disease caused by *Aspergillus ochraceus* in postharvest grapes. *Journal of Applied Microbiology*, 126(4), 1161-1174. <https://doi.org/10.1111/jam.14193>

LATGÉ, J. P. (Ed.). (2020). *The fungal cell wall: an armour and a weapon for human fungal pathogens* (Vol. 425). Springer Nature. https://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=2iL3DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=The+cell+wall:+a+carbohydrate+armour+for+fungi&ots=Z_zKx6D5_1&sig=8WN7R8WZ9Zzscn4GbMsJbSN62PM

LI, Z., Wang, N., Wei, Y., Zou, X., Jiang, S., Xu, F., ... & Shao, X. (2020). Terpinen-4-ol enhances disease resistance of postharvest strawberry fruit more effectively than tea tree oil by activating the phenylpropanoid metabolism pathway. *Journal of agricultural and food chemistry*, 68(24), 6739-6747. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jafc.0c01840>

MAKKAR, M.K., Sharma, S. & Kaur, H. (2018). Evaluation of *Mentha arvensis* essential oil and its major constituents for fungitoxicity. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 3840–3844. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3291-y>

MANGALAGIRI, NP, Panditi, SK e Jeevigunta, NLL (2021). Atividade antimicrobiana de óleos essenciais de plantas e seus principais componentes. *Heliyon*, 7 (4). [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(21\)00938-5](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(21)00938-5)

MENEZES, T. O. A., Alves, A. C. B. A., Vieira, J. M. S., de Menezes, S. A. F., Alves, B. P., & Mendonça, L. C. V. (2009). *In vitro* evaluation of the anti-fungi activity of essential oils and plant extracts present in the Amazon region about the strain of *Candida albicans*. *Revista de Odontologia da UNESP*, 38(3), 184-191.

MOHIDDIN, F. A., Bhat, N. A., Wani, S. H., Bhat, A. H., Ahanger, M. A., Shikari, A. B., Sofi, N. R., Parveen, S., Khan, G. H., Bashir, Z., Vachova, P., Hassan, S., & Sabagh, A. E. (2021) Combination of strobilurin and triazole chemicals for the management of blast disease in mushk budji -aromatic rice. *Journal of Fungi*, 7(12):1060. <https://doi.org/10.3390/jof7121060>

NUNES, C. R., Valente, P. M., da Silva, F. D., & Valente, V. M. M. (2021). Chemical composition and antifungal activity of *Thymus vulgaris* essential oil on *Aspergillus niger*, *Penicillium expansum*, *Sclerotinia sclerotiorum* and *Sclerotium rolfsii*. *Brazilian Journal of Development*, 7(2), 14250-14260. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n2-173>

OKE, D. G., Faboro, E. O., Oyebamiji, A. K., & Labunmi, L. (2024). *In vitro* and *in silico* evaluations of cardanol and derivatives from cashew nut-shell. *Chemistry Africa*, 7, 1889-1898. <https://doi.org/10.1007/s42250-023-00856-4>

PAULL, R. E., & Duarte, O. (2012). Papaya (*Carica papaya* L.). In *Tropical Fruits* (2nd ed., pp. 241-267). CAB International.

Peralta-Ruiz, Y., Rossi, C., Grande-Tovar, C. D., & Chaves-López, C. (2023). Green management of postharvest anthracnose caused by *Colletotrichum gloeosporioides*. *Journal of Fungi*, 9(6), 623. <https://doi.org/10.3390/jof9060623>

PITT, J. I., & Hocking, A. D. (2009). *Fungi and Food Spoilage* (3rd ed.). Springer.
 Puvača, N., Milenković, J., Galonja Coghill, T., Bursić, V., Petrović, A., Tanasković, S., ... & Miljković, T. (2021). Antimicrobial activity of selected essential oils against selected pathogenic bacteria: In vitro study. *Antibiotics*, 10(5), 546. <https://www.mdpi.com/2079-6382/10/5/546>

PUVAČA, Nikola et al. Antimicrobial activity of selected essential oils against selected pathogenic bacteria: In vitro study. **Antibiotics**, v. 10, n. 5, p. 546, 2021. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10050546>

RANA, I. S., Rana, A. S., & Rajak, R. C. (2011). Evaluation of antifungal activity in essential oil of the *Syzygium aromaticum* (L.) by extraction, purification and analysis of its main component eugenol. *Brazilian Journal of Microbiology*, 42(4), 1269-1277. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822011000400004>

SANTOS FILHO, H. P., & Oliveira, A. A. R. (2021). Doenças causadas por fungos, bactérias e oomicetos. In *A cultura do mamão* (Cap. 9). Embrapa.

Sharma, S. S., Nair, A., & Pai, V. K. (2012). *Evaluation of sodium salt of sulfonated cashew nut shell liquid (CNSL) as an effective biocide in paper mill*. IPPTA Quarterly Journal of Technical Association, 24(3), 175–179.

SOUZA, N. O., Cunha, D. A., Rodrigues, N. S., Pereira, A. L., Medeiros, E. J. T., Pinheiro, A. A., de Vasconcelos, M. A., do Nascimento Neto, L. G., Bezerra, T. T., Mazzetto, S. E., Lomonaco, D., Teixeira, E. H., & Saboia, V. P.A. (2022). Cashew nut shell liquids: Antimicrobial compounds in prevention and control of the oral biofilms. *Archives of Oral Biology*, 133, 105299. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2021.105299>

TEODORO, M., Canuto, K., De Andrade, I., Oiram-Filho, F., Santos, R., Mayo, S., De Carvalho Castro, K., Lima, D., Costa-Júnior, L., & De Brito, S. (2019). Acaricidal activity of cashew nut shell liquid associated with essential oils from *Cordia verbenacea* and *Psidium guajava* on *Rhipicephalus microplus*. *Journal of Essential Oil Research*, 31, 297-304. <https://doi.org/10.1080/10412905.2019.1580225>

TIAN, B. H., Luo, X., Zeng, H., Ban, X., He, J., & Wang, Y. (2012). The control of *Aspergillus flavus* with *Cinnamomum jensenianum* Hand. -Mazz essential oil and its potential use as a food preservative. *Food Chemistry*, 130(3), 520-527. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.061>

TOFIÑO-RIVERA, A. P., Castro-Amaris, G., & Casierra-Posada, F. (2020). Effectiveness of Cymbopogon citratus Oil Encapsulated in Chitosan on Colletotrichum gloeosporioides Isolated from Capsicum annuum. *Molecules*, 25(19), 4447. <https://www.mdpi.com/1420-3049/25/19/4447>

VIANA, B. L. A., de Carvalho, A. F. M., & Batista, H. L. (2024). In vitro analysis of the antifungal activity of ozonized and non-ozonized essential oils from *Eugenia caryophyllus*,

Melaleuca alternifolia, and *Pelargonium graveolens*. *Revista Sociedade Científica*, 7(1), 1447-1479. <https://doi.org/10.61411/rsc202439317>

VIANA, E. S., Alves, J. V. O., Aguiar, I. F. S., da Silva, F. H. S., da Silva, R. L., de Arruda, L. G., Barbosa, M. F. S., Barbasa, B. V. D. R., de Amorim, L. C., da Silva, P. M., & da Silva, M. V. (2022). Antioxidant activity, physicochemical characterization and study of the bioactivity of fixed oil of *Attalea speciosa* Mart. ex Spreng (Arecaceae) against fungal pathogens. *Research, Society and Development*, 11(7), e37311730307. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i7.30307>

VIEIRA, A. S., Veloso, J. S., da Silva, A. C., Nunes, A. S., Doyle, V. P., Castlebury, L. A., & Câmara, M. P. S. (2022). Elucidating the *Colletotrichum* spp. diversity responsible for papaya anthracnose in Brazil. *Fungal Biology*, 126(10), 623-630. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2022.08.001>

WELKE, J. E. (2019). Fungal and mycotoxin problems in grape juice and wine industries. *Current Opinion in Food Science*, 29, 7-13. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.06.009>

Zhang, C., Zhou, T., Xu, Y., Du, Z., Li, B., Wang, J., ... & Zhu, L. (2020). Ecotoxicology of strobilurin fungicides. *Science of the Total Environment*, 742, 140611. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140611>

CAPÍTULO 4. ARTIGO 2

APLICAÇÃO DE COBERTURAS BIODEGRADÁVEIS CONTENDO LÍQUIDO DA CASTANHA DE CAJÚ (LCCT) E OS ÓLEOS ESSENCIAIS DE CRAVO (*Eugenia caryophyllus*) E HORTELÃ (*Mentha piperita*) PARA CONSERVAÇÃO DE GOIABAS (*Psidium guajava* L.)

Paula Luiza Antunes de Oliveira¹; Danielle Marques Vilela²; Sílvia Maria Martelli^{3*}.

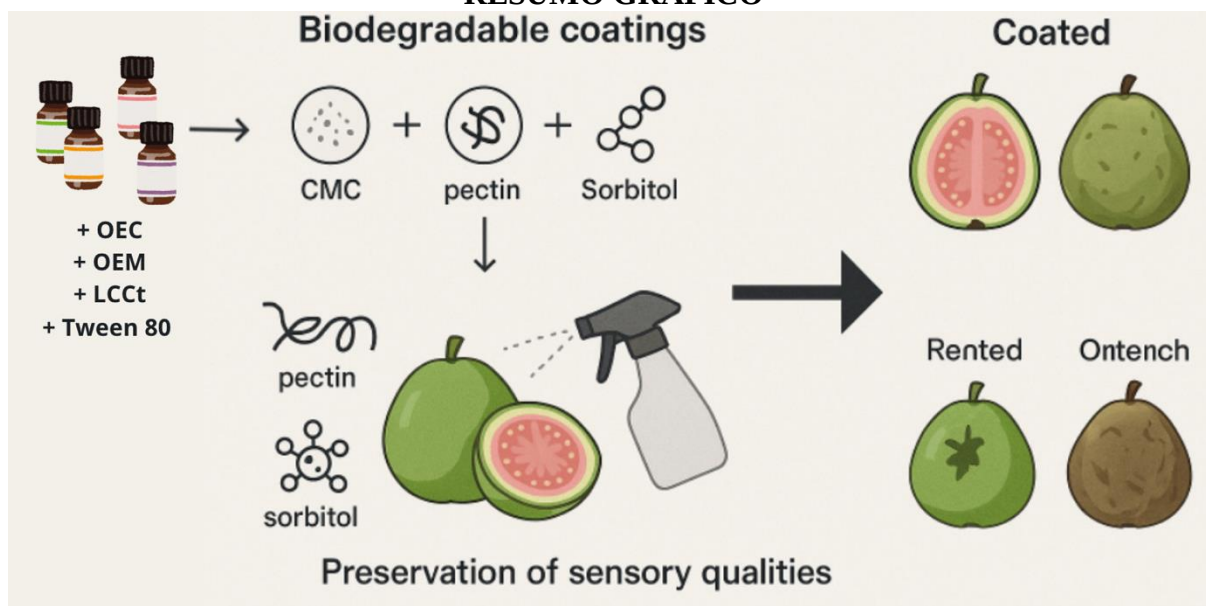
1 Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados (MS) Brasil; paulaluantunes@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0003-4783-3862>

2 Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, Brasil; daniellevilela@ufgd.edu.br <https://orcid.org/0000-0001-7549-7283>

3 Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, Brasil; silvamatelli@ufgd.edu.br <https://orcid.org/0000-0003-0890-8606>

*Autora correspondente: Sílvia Maria Martelli, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados, Rodovia Dourados-Itahum, Km 12 – Unidade II - Caixa Postal: 364, Dourados, MS, CEP: 79804-970, Dourados, Brasil. **E-mail: silviamartelli@ufgd.edu.br; smmartelli@gmail.com

RESUMO GRÁFICO



RESUMO

A goiaba (*Psidium guajava* L.) é um fruto amplamente consumido e comercializado em países tropicais, sendo valorizada por seu sabor, valor nutricional e versatilidade; no entanto, sua elevada perecibilidade resulta em consideráveis perdas durante as etapas de comercialização, transporte e armazenamento. Este estudo teve como objetivo avaliar a eficácia de coberturas biodegradáveis, compostas por carboximetilcelulose (CMC), óleos essenciais de cravo e hortelã associados ao líquido da casca de castanha de caju (LCCT), na conservação pós-colheita de goiabas (*Psidium guajava* L.). A influência dessas formulações para preservar atributos físico-químicos, microbiológicos e sensoriais das frutas durante o armazenamento foi avaliada. As coberturas biodegradáveis foram elaboradas com carboximetilcelulose (CMC) e pectina como matriz polimérica, além de sorbitol como plastificante. Formulações contendo LCCT, óleos essenciais de cravo e hortelã, e o surfactante Tween 80 foram preparadas separadamente e incorporadas à solução base. As formulações foram homogeneizadas por agitação manual até

obtenção de misturas estáveis. Os resultados confirmam que as coberturas biodegradáveis com óleos essenciais de cravo e hortelã, associadas ao LCCt, preservaram de forma eficaz as goiabas durante 11 dias de armazenamento. Visualmente, os frutos tratados apresentaram menor deterioração e coloração mais estável, especialmente na Formulação 1, que retardou o amadurecimento. A análise de cor evidenciou menor variação de ΔE^* nos frutos revestidos, indicando desaceleração da senescência. No aspecto microbiológico, a Formulação 4 mostrou maior efeito antifúngico, reforçando a ação sinérgica entre os compostos. As análises físico-químicas indicaram maior estabilidade de pH, sólidos solúveis e acidez, mantendo a qualidade sensorial. Quanto à perda de massa, as coberturas reduziram a desidratação e aumentaram a vida útil. O índice de maturação foi significativamente retardado nos tratamentos com revestimentos, prolongando a qualidade comercial. A preservação da vitamina C foi mais efetiva nos frutos cobertos, garantindo valor nutricional. Em conjunto, as coberturas reduziram perdas, protegeram contra fungos e mantiveram atributos sensoriais e químicos. Dessa forma, configuram-se como alternativa sustentável e viável à conservação pós-colheita. Recomenda-se a ampliação de estudos que considerem a viabilidade econômica dessas formulações e sua aplicação em diferentes contextos agrícolas.

Palavras-chave: Conservação pós-colheita. Biodegradáveis. Óleo essencial de cravo. Óleo essencial de hortelã. Líquido da casca de castanha de caju.

ABSTRACT

Guava (*Psidium guajava* L.) is a fruit widely consumed and marketed in tropical countries, valued for its flavor, nutritional content, and versatility; however, its high perishability results in considerable losses during marketing, transportation, and storage. This study aimed to evaluate the effectiveness of biodegradable coatings composed of carboxymethylcellulose (CMC), clove and mint essential oils, and cashew nutshell liquid (CNSL) in the postharvest preservation of guavas (*Psidium guajava* L.). The influence of these formulations on maintaining the physicochemical, microbiological, and sensory attributes of the fruit during storage was assessed. The biodegradable coatings were prepared using CMC and pectin as the polymeric matrix, with sorbitol as a plasticizer. Formulations containing CNSL, clove and mint essential oils, and the surfactant Tween 80 were prepared separately and incorporated into the base solution. The formulations were homogenized by manual stirring until stable mixtures were obtained. The results confirmed that the biodegradable coatings with clove and mint essential oils, combined with CNSL, effectively preserved guavas for 11 days of storage. Visually, treated fruits showed less deterioration and more stable coloration, especially in Formulation 1, which delayed ripening. Color analysis revealed a smaller ΔE^* variation in coated fruits, indicating a slowdown in senescence. From a microbiological perspective, Formulation 4 demonstrated greater antifungal activity, reinforcing the synergistic action of the compounds. Physicochemical analyses indicated greater stability in pH, soluble solids, and acidity, maintaining sensory quality. Regarding weight loss, the coatings reduced dehydration and extended shelf life. The maturation index was significantly delayed in coated treatments, prolonging commercial quality. Vitamin C retention was more effective in coated fruits, ensuring nutritional value. Overall, the coatings reduced losses, protected against fungi, and preserved sensory and chemical attributes. Thus, they represent a sustainable and viable alternative for postharvest preservation. Further studies are recommended to evaluate the economic feasibility of these formulations and their application in different agricultural contexts.

Keywords: Postharvest preservation. Biodegradable coatings. Clove essential oil. Mint essential oil. Cashew nutshell liquid.

INTRODUÇÃO

A conservação pós-colheita de frutas tropicais representa um dos principais desafios da cadeia produtiva agrícola, especialmente em países de clima quente e úmido como o Brasil, onde as condições ambientais favorecem a rápida deterioração desses produtos (Onias *et al.*, 2018). A goiaba (*Psidium guajava* L.) é notável entre as frutas por sua alta perecibilidade. Muito apreciada pelo sabor, aroma e valor nutricional, é também extremamente sensível aos processos fisiológicos e microbiológicos que se desenvolvem pós-colheita. Seu alto teor de água e intensa atividade enzimática aceleram a degradação da qualidade sensorial, reduzem sua vida útil e elevam as perdas durante o armazenamento e comercialização (Stoher *et al.*, 2023; Alves *et al.*, 2024).

O processo de degradação causado por fungos e bactérias, compromete a qualidade da fruta e reduz seu valor comercial. Para minimizar esses prejuízos, a indústria alimentícia ainda depende amplamente de conservantes sintéticos, como fungicidas e antioxidantes artificiais, reconhecidos por sua eficácia no combate a microrganismos patogênicos e responsáveis pela deterioração (Gutiérrez-Del-Río *et al.*, 2018). O uso persistente dessas substâncias tem suscitado preocupações relacionadas à toxicidade, à resistência microbiana e às repercussões na saúde humana. Esses fatores têm impulsionado investigações no sentido de desenvolver alternativas naturais que sejam mais seguras e sustentáveis do ponto de vista ambiental (Falleh *et al.*, 2020).

Nesse contexto, os conservantes naturais, como os óleos essenciais e seus compostos bioativos, surgem como alternativas viáveis, devido às suas propriedades antimicrobianas, antifúngicas e antioxidantes (Bhavaniramya *et al.*, 2019; Chaudhari *et al.*, 2020; Pisoschi *et al.*, 2018).

Scapinello *et al.* (2024) e Raddatz *et al.* (2021) mencionam, em seus estudos, que os revestimentos comestíveis possuem um papel fundamental ao atuarem como barreiras protetoras, reduzindo a transpiração e impedindo a proliferação de microrganismos patogênicos. Entretanto, a incorporação de compostos bioativos de origem natural nesses revestimentos ainda enfrenta obstáculos, particularmente no que diz respeito à sua estabilidade e viabilidade em condições práticas de conservação (Castro *et al.*, 2020).

Vale ressaltar que o uso de óleos essenciais em revestimentos comestíveis tem se consolidado como uma estratégia promissora, devido às suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas. O eugenol, o principal componente do óleo essencial de cravo, é amplamente conhecido por sua eficácia em impedir o desenvolvimento de fungos e bactérias. Da mesma

forma, o mentol, presente no óleo essencial de hortelã, contribui para a estabilidade sensorial e nutricional dos alimentos (Espíndola *et al.*, 2022).

O presente estudo visou avaliar a eficácia de coberturas biodegradáveis elaboradas com carboximetilcelulose (CMC), óleos essenciais de cravo (*Eugenia caryophyllus*) e hortelã (*Mentha piperita*), associados ao LCCT, na preservação de goiabas durante o armazenamento. A investigação busca responder à seguinte questão: essas formulações conseguem preservar a qualidade das goiabas de forma eficaz, reduzindo perdas econômicas e promovendo práticas mais sustentáveis? Dessa forma, o artigo teve como objetivo comparar a eficácia dessas coberturas biodegradáveis em relação a métodos tradicionais de conservação, aplicando-as na preservação das goiabas com a finalidade de reduzir perdas e promover economia, além de práticas mais sustentáveis.

METODOLOGIA

Materiais

As goiabas (*Psidium guajava* L.) adquiridas no comércio local de Dourados – MS (Mato Grosso do Sul) foram selecionadas com base na integridade da casca, na homogeneidade e no grau de maturação adequado. Após a triagem, os frutos foram separados conforme os tratamentos propostos.

Para a formulação das coberturas biodegradáveis, foram utilizados o polímero carboximetilcelulose de sódio (CMC) (CAS: 9004-32-4), o D-sorbitol P.S. (CAS: 50-70-4), ambos da marca Dinâmica®, além de pectina, LCCT e os óleos essenciais de cravo (*Eugenia caryophyllus*) (CAS: 8000-34-8) e hortelã (*Mentha piperita*) (CAS: 84082-70-2), fornecidos pela empresa Ferquímica. Como os componentes hidrofílicos (como a CMC e a pectina) não são naturalmente compatíveis com os óleos essenciais e o LCCT, foi necessária a preparação de uma Formulação com o uso de surfactante, a fim de garantir a estabilidade da mistura e evitar a separação de fases. A proposta desses revestimentos visa combinar a formação de uma barreira física com as propriedades bioativas dos aditivos naturais, promovendo maior proteção microbiológica e prolongando a vida útil das goiabas durante o armazenamento.

Métodos

Elaboração Das Coberturas

A Tabela 1 apresenta a descrição detalhada das formulações utilizadas no experimento, os componentes em g/100 g da solução final para cada tratamento, considerando como base a

formulação polimérica composta por CMC (carboximetilcelulose), pectina e sorbitol. Os tratamentos tratados com formulações (1 a 4) foram preparados a partir da diluição de uma solução concentrada de CMC e pectina (20 g de pectina + 4 g de CMC em 2 L de água com 4,8 g de sorbitol) e combinados com emulsões contendo os óleos essenciais e o líquido da casca da castanha de caju (LCCT). Cada Formulação foi composta por 500 mL da solução polimérica + 500 mL da Formulação correspondente. As emulsões foram formuladas da seguinte maneira: Formulação 1 (1 L: 500 mL da base + 500 mL com 20 mL de OEC + 20 mL de LCCT + 20 mL de Tween 80), Formulação 2 (com 20 mL de OEM no lugar do OEC), Formulação 3 (2% LCCT com 40 mL de LCCT + 20 mL de Tween em 1 L de água) e Formulação 4 (10 mL de OEC + 10 mL de OEM + 20 mL de LCCT + 20 mL de Tween em 1 L de água). Já a Tabela 2 mostra como essas formulações refletiram nos diferentes valores de pH, indicando as concentrações finais em g/100 g de cada componente na solução aplicada. Essa padronização foi essencial para garantir comparabilidade entre os tratamentos durante a análise de conservação pós-colheita das goiabas.

Tabela 1 – Composição das formulações aplicadas nas goiabas em g/100g

COMPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS					
CMC (g/100g)	PEC (g/100g)	OEC (g/100g)	OEM (g/100g)	LCCT (g/100g)	Tween 80 (g/100g)
1	0,2	1	0	1	1
1	0,2	0	1	1	1
1	0,2	0	0	2	1
1	0,2	0,5	0,5	1	1
1	0,2	0	0	0	0

LCCT = Líquido da Casca da Castanha de Caju; OEC = óleo essencial de cravo botão; OEM = óleo essencial de *Mentha piperita*; CMC Carboximetilcelulose;

As formulações foram preparadas com diferentes combinações de óleo essencial de cravo (OEC), óleo essencial de *Mentha piperita* (OEM), líquido da casca de castanha de caju (LCCT) e Tween 80 como agente emulsificante, respeitando uma concentração final de 0,4% v/v para os óleos essenciais.

Ao término do processo, a Formulação contendo os óleos essenciais e o LCCT foi adicionada à solução polimérica e agitada suavemente até alcançar a homogeneização completa. As soluções de revestimento foram aspergidas nas goiabas e secas a temperatura ambiente antes do armazenamento.

Análise Visual

Durante os 11 dias de experimento, a aparência geral das goiabas foi avaliada por meio de registros fotográficos capturados por um aparelho celular equipado com câmera de 50MP nos dias 0, 4, 6, 8 e 11 do armazenamento, não receberam nenhum tipo de tratamento adicional, de modo a preservar a autenticidade das condições analisadas.

Microbiologia

Para a análise microbiológica, alíquotas de 25 g das cascas das goiabas foram pesadas em balança analítica e transferidas para Erlenmeyers estéreis, contendo 225 mL de água peptonada a 0,1%. A homogeneização da solução foi realizada manualmente por dois minutos. Em seguida, alíquotas de 100 µL das diluições obtidas foram inoculadas em placas de Petri contendo ágar BDA, sendo as amostras espalhadas por superfície com auxílio de alça de Drigalski flambada em álcool 96%. As placas foram incubadas a 28° C em estufa por um período de sete dias, permitindo o crescimento de bolores e leveduras. Cada tratamento contou com quatro repetições, e os resultados foram expressos como o número de Unidades Formadoras de Colônia por grama de material (UFC g⁻¹) (Palmeira *et al.*, 2014).

Análises Físico-Químicas

Para as determinações físico-químicas potencial hidrogeniônico (pH), sólidos solúveis (BRIX), acidez titulável, índice de maturação (ratio) e vitamina C, as amostras foram trituradas com auxílio de um mixer, e todas as análises foram realizadas em triplicata. O pH foi medido utilizando-se um pHmetro digital (PH-2000 - Instrutherm), previamente calibrado com soluções padrão de pH 7 e 4. A quantificação dos sólidos solúveis foi feita com um refratômetro digital (Atago® Pocket PAL-1), obtendo-se os resultados diretamente ao posicionar a amostra sobre o leitor do equipamento. A perda de massa, um dos indicadores mais críticos de desidratação e proteção física, foi significativamente menor nos tratamentos cobertos. A acidez total titulável foi determinada por titulação com solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 0,1 N, calculando-se a Taxa de Transferência Aparente (ATT) e foi calculada pela Equação (1)

$$ATT (\%) = \frac{V \times F \times M \times PM}{10 \times P \times n}$$

Equação 1

Onde: ATT = Acidez Titulável; V = Volume gasto de NaOH (mL); N = normalidade da solução de NaOH (0,1N); F = fator de correção do ácido predominante (ácido cítrico = 0,06404); f = fator de correção da solução de NaOH; e M = Massa da amostra.

Os valores de Ratio foram calculados a partir dos resultados obtidos dos sólidos solúveis (SST) e acidez titulável (ATT). Os cálculos foram realizados conforme a equação 2:

$$Ratio = \frac{SST}{ATT}$$

Equação 2

A determinação do teor de vitamina C foi realizada utilizando o método iodimétrico, que se fundamenta na reação de oxirredução entre o ácido ascórbico e o iodo molecular (I_2), o qual é reduzido a íons iodeto (I^-) durante o processo analítico.

Análise de Cor

As análises de cor foram realizadas diretamente sobre a superfície da fruta, utilizando-se o colorímetro Hunterlab (Colorquest II, Fairfax, VA, USA). Foram determinados os parâmetros L^* , a^* e b^* durante a estocagem, utilizando-se 2 goiabas de cada tratamento, com medidas feitas em triplicatas nos dois lados da fruta (3 repetições de cada lado) para gerar uma média de cada tratamento e em cada tempo avaliado. As goiabas utilizadas para as medidas de cor foram as mesmas durante toda a estocagem.

Parâmetros de cor

A análise colorimétrica foi realizada utilizando colorímetro digital CR 400 (Konica Minolta ®), operando no sistema CIELab (L^* , a^* , b^*), o aparelho foi utilizado para avaliar a coloração dos tecidos vegetais das goiabas sem danificá-las. As análises foram realizadas em triplicata de cada goiaba em cada tratamento e em pontos aleatórios nos 11 dias de armazenamento. Foram determinados os parâmetros L^* , a^* e b^* durante a estocagem, feitas em triplicatas nos dois lados da fruta (3 repetições de cada lado) para gerar uma média de cada tratamento e em cada tempo avaliado. As goiabas utilizadas para as medidas de cor foram as mesmas durante toda a estocagem. O ΔE^* , é uma medida absoluta da diferença de cor, incluindo aspectos como brilho, tonalidade e saturação, foi calculado de acordo com a equação 3.

$$\Delta E^* = \sqrt{[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]}$$

Eq. 3

Análise Estatística

O programa InfoStat/L, versão 2020, foi empregado para a realização das análises estatísticas, incluindo análise de variância (ANOVA) e o teste de comparação de médias de Tukey, em que se considerou um intervalo de confiança de 95% ($p < 0,05$). Os resultados foram

apresentados como a média das três repetições, acompanhada de desvio padrão (DP).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

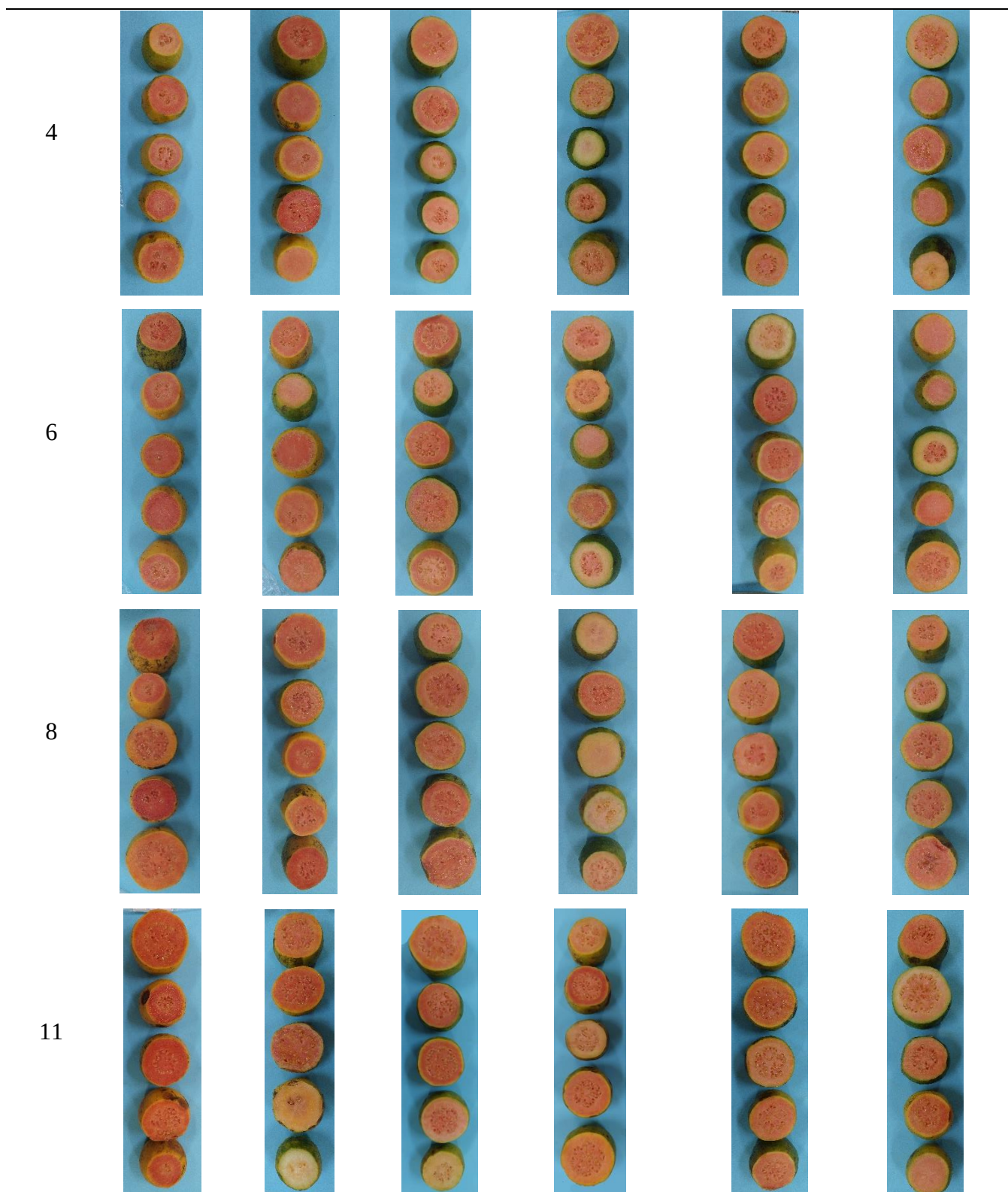
Os resultados apresentados no estudo revelaram, de forma geral, a eficácia das coberturas biodegradáveis compostas por óleos essenciais de cravo e hortelã, associados ao LCCT, na preservação de goiabas. Fernandes *et al.* (2021), aponta que os revestimentos comestíveis podem retardar o estresse das frutas, criando uma barreira semipermeável que reduz a perda de umidade e a entrada de microrganismos patogênicos. As coberturas utilizadas no estudo evidenciaram sua capacidade de mitigação dos efeitos da manipulação ao longo de 11 dias de armazenamento, com resultados semelhantes aos obtidos pela pesquisa de Castro e Ribeiro (2020) ao avaliar revestimentos naturais em frutas tropicais.

Análise Visual

A avaliação visual, representada nas imagens capturadas durante o experimento, indicou que os tratamentos com coberturas contendo óleos essenciais apresentaram menor incidência de manchas e deterioração superficial em comparação ao controle. A Formulação 1 destacou-se pela preservação mais eficaz da aparência das frutas, evidenciando o impacto positivo da sinergia dos compostos do cravo e LCCT na redução dos efeitos visuais de senescência, como indicado na Figura 1 e Figura 2. Além disso, observou-se uma diferença nítida na coloração interna das frutas, sendo que os frutos do tratamento controle apresentaram uma tonalidade mais avermelhada, característica de um estágio de maturação mais avançado. Esse resultado reforça a eficácia das formulações com óleos essenciais na desaceleração do amadurecimento e na manutenção da qualidade visual do produto ao longo do tempo.

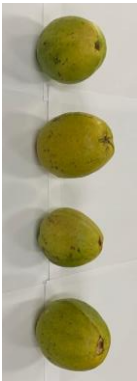
Figura 1 - Aparência interna da polpa das frutas durante 11 dias de armazenamento a 16°C

APARÊNCIA DA POLPA DAS FRUTAS						
Dia	Controle	CMC + Pec	Formulação 1	Formulação 2	Formulação 3	Formulação 4
0						



Controle: Frutos não revestidos; CMC + PEC: Frutos revestidos com carboximetilcelulose a 0,3% + Pectina a;
FORMULAÇÃO 1: Frutos revestidos com carboximetilcelulose a 0,3% + 1% óleo essencial cravo + 1%LCCT;
FORMULAÇÃO 2; FORMULAÇÃO 3; FORMULAÇÃO 4: Frutos revestidos com carboximetilcelulose a 0,3%
+ 0,5% Oe Cra/0,5%OE hortelã/1%Lcct.

Figura 2 - Aparência da casca das frutas durante 11 dias de armazenamento a 16°C

APARÊNCIA DA CASCA DAS FRUTAS						
Dia	Controle	CMC + Pec	Formulação 1	Formulação 2	Formulação 3	Formulação 4
0						
4						
6						
8						

11



Controle: Frutos não revestidos; CMC + PEC: Frutos revestidos com carboximetilcelulose a 0,3% + Pectina a; FORMULAÇÃO 1: Frutos revestidos com carboximetilcelulose a 0,3% + 1% óleo essencial cravo + 1%LCCT; FORMULAÇÃO 2; FORMULAÇÃO 3; FORMULAÇÃO 4: Frutos revestidos com carboximetilcelulose a 0,3% + 0,5% Oe Cra/0,5%OE hortelã/1%Lcct.

Dessa forma, a aplicação de óleos essenciais como conservantes naturais apresenta-se como uma alternativa sustentável aos conservantes sintéticos, contribuindo para a manutenção da qualidade dos alimentos e reduzindo impactos ambientais (Durço, 2021). Reforçando essa perspectiva, Gull *et al.* (2024) demonstraram que coberturas à base de óleos essenciais aplicadas em frutas tropicais resultaram em menor incidência de escurecimento e rachaduras, promovendo uma aparência visual mais atrativa ao longo do armazenamento.

Parâmetros de cor

A Tabela 2 ilustra a alteração na cor das goiabas ao longo do período de armazenamento para cada tratamento, considerando sempre como referência o primeiro dia. A análise tem como propósito identificar qual dos tratamentos resultou na maior variação de cor. Conforme a observação do gráfico, é possível verificar que, em um mesmo lote de goiabas, ocorreram mudanças na cor total ao longo dos 11 dias de armazenamento. Ademais, também se constata divergências na magnitude da variação de cor entre os distintos tratamentos ao final do período avaliado.

Após 11 dias sob condições refrigeradas, os valores mais elevados de ΔE^* foram observados nas amostras do lote controle. Entre as formulações avaliadas, a formulação 4 destacou-se por apresentar o maior valor de ΔE^* , enquanto os menores valores de ΔE^* ao término do experimento foram registrados para a formulação 1. Os resultados mostraram que todos os frutos avaliados exibiram alterações significativas nos valores de ΔE^* ao longo do tempo, abrangendo tanto os lotes tratados quanto o lote de controle (sem cobertura). Essa

mudança evidencia a evolução da coloração de verde para amarelo, um fenômeno diretamente relacionado ao processo de amadurecimento das frutas durante o período de estocagem.

As alterações na coloração das frutas em função do amadurecimento podem ser atribuídas aos processos de degradação da clorofila presente nas cascas, acompanhados pela síntese de carotenoides, estes últimos responsáveis pela tonalidade amarela característica. Dessa forma, a coloração é amplamente reconhecida como um dos principais indicadores para avaliar o estágio de amadurecimento de frutas e hortaliças (Sueliton *et al.*, 2023).

Tabela 2 - Resultados de porcentagem de ΔE apresentado por cada tratamento no decorrer dos 11 dias de análise.

COBERTURA					
Controle	CMC + Pec	Formulação 1	Formulação 2	Formulação 3	Formulação 4
DIA 4					
ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE
14,84	16,58	2,36	7,61	7,20	11,21
DIA 6					
ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE
24,05	20,23	4,85	11,99	10,77	14,73
DIA 8					
ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE
29,49	22,54	8,64	16,93	14,78	18,88
DIA 11					
ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE
33,64	25,35	11,00	18,35	18,11	21,85

Microbiologia

Os dados microbiológicos, apresentados na Figura 3 da Concentração Mínima Inibitória (CIM) *in vivo*, confirmaram uma redução significativa no número de Unidades Formadoras de Colônia (UFC.g⁻¹), e consequentemente o aumento da inibição nos tratamentos com coberturas.

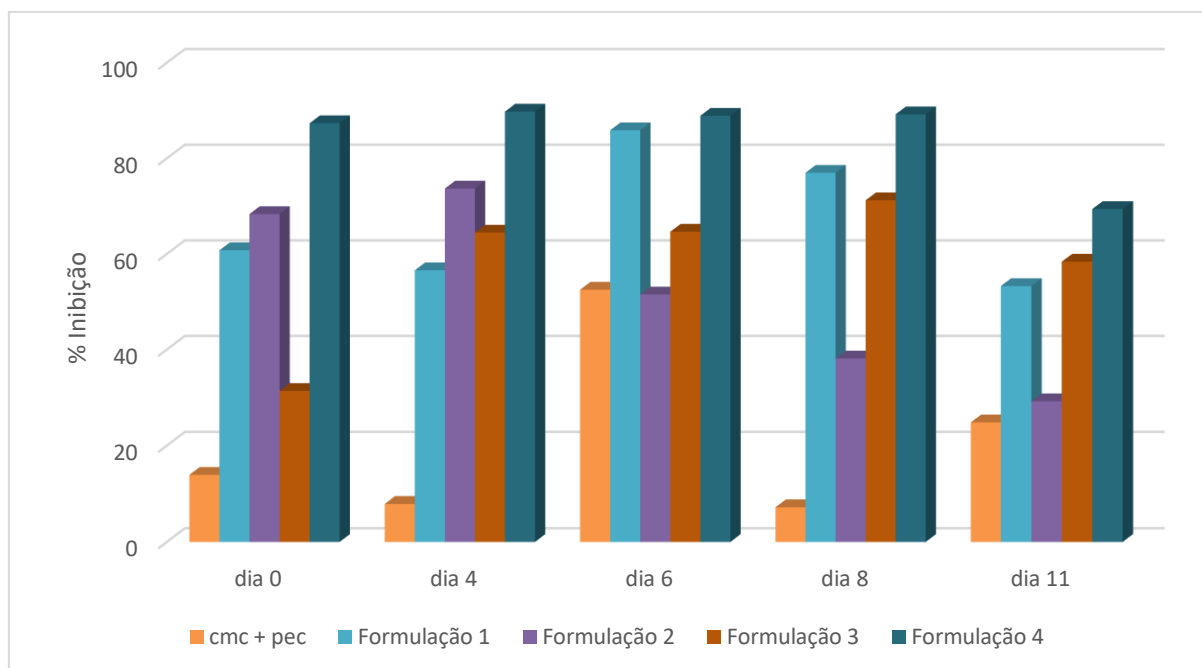


Figura 3 – Resultados de porcentagem de inibição do crescimento fúngico apresentado por cada tratamento no decorrer dos 11 dias de análise.

A Formulação 4, com OEC e hortelã mais o LCCT, demonstrou o melhor desempenho na inibição de microrganismos, reforçando que a sinergia destes aumenta a atividade antifúngica, criando uma barreira eficaz contra patógenos. Segundo Fernandes *et al.* (2021) e Majood e cols. (2024) evidenciaram que formulações com eugenol mostraram-se eficazes na inibição de fungos pós-colheita em frutas armazenadas, destacando-se como uma alternativa segura ao uso de fungicidas convencionais.

As substâncias naturais são alternativas promissoras para substituição de aditivos sintéticos devido ao menor risco de toxicidade e interações indesejadas (Santos *et al.*, 2022; Levy *et al.*, 2022). Os aditivos naturais, como os óleos essenciais, oferecem benefícios adicionais à saúde e são mais aceitos pelos consumidores modernos, que buscam produtos mais saudáveis e naturais (Popescu *et al.*, 2023; Oztekin *et al.*, 2022).

Nesse contexto, os óleos essenciais são compostos voláteis, aromáticos e de origem vegetal, conhecidos por suas propriedades antimicrobianas, antioxidantes e antifúngicas. A influência de fatores como composição do solo, clima, presença de agrotóxicos e método de extração afetam a qualidade e a eficácia desses compostos (Djebbi *et al.*, 2024).

Além do OECe de hortelã, outros compostos naturais têm sido estudados por suas propriedades antifúngicas. O Líquido da Casca da Castanha de Caju (LCC), extraído do *Anacardium occidentale L.*, demonstrou elevado potencial fungicida contra os fungos

Colletotrichum gloesporioides e *Lasiodiplodia theobromae* (Garcia *et al.*, 2017). Testes *in vitro* indicaram que a concentração de 320 µg mL⁻¹ foi a mais eficaz na inibição do crescimento micelial e da esporulação desses patógenos. Os testes *in vivo* reforçaram o efeito protetor do LCC, principalmente contra o *C. gloesporioides*, evidenciando sua relevância na conservação de frutos (Garcia *et al.*, 2017).

Estudos recentes também relatam que a incorporação de óleos essenciais em revestimentos biodegradáveis pode atuar sinergicamente com compostos fenólicos naturais, aumentando a atividade antimicrobiana contra fungos e bactérias causadores de deterioração em frutas tropicais (Lekshmi *et al.*, 2025).

Análises Físicas e Químicas

Potencial Hidrogeniônico (pH)

A análise do pH, conforme apresentada na tabela 3, demonstrou uma maior estabilidade nos tratamentos com coberturas, destacando-se a Formulação 4. Ao longo do período de armazenamento, os valores de pH oscilaram dentro de uma faixa considerada ideal para a preservação das características organolépticas das frutas. Essa redução nas oscilações do pH pode ser atribuída à presença de compostos antioxidantes nas formulações, que retardam os processos de manipulação bioquímica, contribuindo para a manutenção da qualidade do fruto (Castro; Ribeiro, 2020).

A goiaba é uma rica fonte de compostos antioxidantes, como licopeno, ácido ascórbico (vitamina C) e compostos fenólicos, os quais desempenham um papel fundamental na estabilidade química dos frutos ao longo do armazenamento (Gangappa *et al.*, 2022). A alta concentração dessas variedades compostas em determinadas variedades pode explicar a sua maior capacidade antioxidante, o que é um fator relevante para a preservação da integridade bioquímica dos frutos em condições controladas (Aparecido *et al.*, 2024).

Tabela 3 - Resultados de porcentagem de pH apresentado por cada tratamento no decorrer dos 11 dias de análise

pH (%)						
Dias	Controle	CMC + PEC	Formulação 1	Formulação 2	Formulação 3	Formulação 4
0	4,05 Ac	4,05 Ab	4,05 Ac	4,05 Ab	4,05 Ac	4,05 Ab
	± 0,00	± 0,00	± 0,00	± 0,00	± 0,00	± 0,00
4	4,04 CDc	4,00 Db	4,14 Ba	4,22 Aa	4,05 Cc	4,14 Ba

	$\pm 0,01$	$\pm 0,00$	$\pm 0,01$	$\pm 0,03$	$\pm 0,01$	$\pm 0,00$
6	4,16 ABb	4,07 Cb	4,15 Ba	4,2 Aa	4,12 Ba	4,01 Db
	$\pm 0,01$	$\pm 0,00$	$\pm 0,00$	$\pm 0,03$	$\pm 0,00$	$\pm 0,00$
8	4,24 Aa	4,14 Ba	4,08 Cb	4,00 Db	4,10 Cb	4,1 Ca
	$\pm 0,14$	$\pm 0,00$	$\pm 0,01$	$\pm 0,00$	$\pm 0,00$	$\pm 0,00$
11	4,04 Cc	4,10 Aa	4,06 Bbc	4,01 Db	4,05 BCc	4,06 BCb
	$\pm 0,01$	$\pm 0,00$	$\pm 0,01$	$\pm 0,00$	$\pm 0,01$	$\pm 0,00$

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si à 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas comparam médias na horizontal (entre tratamentos em um mesmo dia), enquanto letras minúsculas comparam médias na vertical (entre os dias em um mesmo tratamento). Os dados são apresentados como média seguido de seu desvio padrão ($\pm$).

Sólidos Solúveis (BRIX)

Os sólidos solúveis estão detalhados na Tabela 4. Os tratamentos com óleos essenciais apresentam de maior estabilidade, sendo a Formulação 3 mais eficaz na preservação dos níveis de açúcar nas goiabas, proporcionando um efeito protetor contra a perda de carboidratos durante o armazenamento. Estudos anteriores demonstram o potencial antioxidante dos óleos essenciais em diferentes alimentos, Gonçalves *et al.* (2018) destacam a conservação e estabilidade de bebida láctea fermentada com óleo essencial de cravo-da-índia.

Estudos como os de Al-Hijazeen *et al.* (2024), Befá Kinki *et al.* (2024) e Kacaniova *et al.* (2020) também confirmam o efeito antioxidante e conservante de óleos essenciais em carnes e produtos panificados, reforçando seu potencial como alternativa natural para preservação de alimentos. Singh (2024) observou resultados semelhantes ao aplicar revestimentos com óleos essenciais em goiabas, com a manutenção de níveis mais elevados de sólidos solúveis durante o armazenamento, atribuídos à ação antioxidante desses compostos.

Tabela 4 - Resultados de porcentagem de Sólidos solúveis apresentado por cada tratamento no decorrer dos 11 dias de análise

SÓLIDOS SOLÚVEIS (%)						
Dias	Controle	CMC + PEC	Formulação 1	Formulação 2	Formulação 3	Formulação 4
0	10,15 Aa	10,15 Aa	10,15 Aa	10,15 Aa	10,15 Aa	10,15 Aa
	$\pm 0,07$	$\pm 0,07$	$\pm 0,07$	$\pm 0,07$	$\pm 0,07$	$\pm 0,07$
4	10,45 Aa	9,7 CDb	9,2 Dbc	10,1 Ba	9,85 CDb	9,85 Cab
	$\pm 0,07$	$\pm 0,00$	$\pm 0,14$	$\pm 0,00$	$\pm 0,07$	$\pm 0,07$

6	9,70 Ab	7,85 Bc	9,50 Ab	9,95 Aab	9,75 Ab	7,85 Bd
	± 0,14	± 0,07	± 0,00	± 0,21	± 0,07	± 0,07
8	9,30 Ac	9,40 Ab	9,25 Abc	9,40 Ac	9,45 Ac	9,20 Ac
	± 0,00	± 0,14	± 0,07	± 0,00	± 0,07	± 0,00
11	9,00 Bc	7,90 Cc	9,05 Bc	9,55 Abc	8,75 Bd	9,70 Ab
	± 0,00	± 0,00	± 0,07	± 0,07	± 0,07	± 0,14

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si à 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas comparam médias na horizontal (entre tratamentos em um mesmo dia), enquanto letras minúsculas comparam médias na vertical (entre os dias em um mesmo tratamento). Os dados são apresentados como média seguido de seu desvio padrão ($\pm$).

Acidez Titulável

A acidez titulável, conforme exposto na tabela 5, foi significativamente menos afetada em tratamentos com coberturas. A Formulação 2 apresentou uma leve vantagem na manutenção do equilíbrio ácido-base, o que contribui para uma experiência sensorial mais agradável e para a preservação do frescor das frutas (Agro Sustentar, 2023). Segundo Castro e Ribeiro (2020), a estabilidade da acidez pode estar diretamente relacionada à presença de compostos antioxidantes nas formulações, que retardam os processos bioquímicos responsáveis pelo amadurecimento acelerado e manipulação celular.

A composição química das frutas e a presença de bioativos, como os encontrados em extratos vegetais e óleos essenciais, podem influenciar a estabilidade da acidez durante o armazenamento (Gangappa *et al.*, 2022). Nesse sentido, a ação sinérgica entre os compostos presentes nas emulsões e a matriz polimérica pode retardar a ação das enzimas envolvidas na manipulação de ácidos orgânicos, proporcionando maior conservação pós-colheita (Aparecido *et al.*, 2024).

Resultados compatíveis foram obtidos por Singh *et al.* (2024), ao utilizarem emulsões com óleos essenciais em morangos, onde observaram menor degradação dos ácidos orgânicos, contribuindo para a manutenção do frescor sensorial e da acidez. Dessa forma, a aplicação dessas coberturas não apenas contribui para a manutenção da acidez, mas também reforça a importância de tecnologias sustentáveis na preservação de produtos agrícolas (Durço, 2021).

Tabela 5 – Resultados de porcentagem de acidez titulável (g de ácido/100g de fruta) apresentado por cada tratamento no decorrer dos 11 dias de análise

ACIDEZ TITULÁVEL (g de ácido/100g de fruta)						
Dias	Controle	CMC + PEC	Formulação 1	Formulação 2	Formulação 3	Formulação 4

0	0,675 Aa ± 0,00	0,675 Aa ± 0,00	0,673 Aa ± 0,00	0,674 Aa ± 0,00	0,675 Aa ± 0,00	0,673 Aa ± 0,00
4	0,622 Bc ± 0,00	0,576 Ed ± 0,00	0,613 Cc ± 0,00	0,658 Aa ± 0,00	0,634 Bc ± 0,00	0,593 Dd ± 0,00
6	0,613 Cc ± 0,00	0,596 Ec ± 0,00	0,602 Dd ± 0,00	0,578 Fc ± 0,00	0,630 Ac ± 0,00	0,620 Bc ± 0,00
8	0,674 Aa ± 0,00	0,561 Ce ± 0,00	0,637 Bb ± 0,00	0,677 Aa ± 0,00	0,556 Cd ± 0,00	0,558 Ce ± 0,00
11	0,657 Ab ± 0,00	0,650 Ab ± 0,00	0,647 Ab ± 0,00	0,601 Bb ± 0,00	0,650 Ab ± 0,00	0,633 Ab ± 0,00

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si à 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas comparam médias na horizontal (entre tratamentos em um mesmo dia), enquanto letras minúsculas comparam médias na vertical (entre os dias em um mesmo tratamento). Os dados são apresentados como média seguido de seu desvio padrão ($\pm$).

Perda de Massa

A Tabela 6, conforme demonstrada em nosso estudo, evidencia que a CMC+PEC e a Formulação 3 obteve os menores índices de perda de massa entre as diferentes formulações testadas, o que reflete a eficácia das coberturas com também a inclusão dos óleos e o LCCt na manutenção da umidade e na proteção contra a desidratação das frutas.

As coberturas também desempenham um papel importante na proteção contra a oxidação e o crescimento microbiano, duas causas predominantes de exceções em frutas armazenadas. As emulsões à base de alginato de sódio, por exemplo, são eficazes na formação de filmes que possuem baixa permeabilidade a gorduras, óleos e oxigênio, ou que retardam a oxidação lipídica e a perda de umidade (Xu *et al.*, 2020).

As coberturas funcionam como barreiras semipermeáveis, limitando a transpiração e a perda de água, e, portanto, ajudam a preservar a qualidade das frutas ao prolongar o período de armazenamento (Grosso *et al.*, 2020; Nicolau-Lapeña *et al.*, 2021).

Tabela 6 - Resultados de porcentagem de Perda de massa apresentado por cada tratamento no decorrer dos 11 dias de análise

PERDA DE MASSA (%)						
Dias	Controle	CMC + PEC	Formulação 1	Formulação 2	Formulação 3	Formulação 4
4	8,65 Ad	5,26 Bc	8,45 Ad	8,70 Ad	3,88 Bc	10,59 Ac

	$\pm 0,07$	$\pm 0,30$	$\pm 0,40$	$\pm 0,37$	$\pm 0,93$	$\pm 0,98$
6	14,33 Ac	8,81 Bbc	13,67 Ac	14,01 Ac	7,67 Bc	16,77 Abc
	$\pm 0,52$	$\pm 0,69$	$\pm 0,56$	$\pm 0,45$	$\pm 0,40$	$\pm 1,65$
8	19,05 Ab	11,91 Bb	18,41 Ab	18,79 Ab	11,89 Bb	22,56 Aab
	$\pm 0,45$	$\pm 1,13$	$\pm 0,81$	$\pm 1,03$	$\pm 0,60$	$\pm 2,32$
11	25,16 ABCa	16,06 Ca	24,48 ABCa	26,13 Aba	20,06 BCa	31,19 Aa
	$\pm 0,72$	$\pm 1,56$	$\pm 0,99$	$\pm 0,34$	$\pm 2,04$	$\pm 5,18$

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si à 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas comparam médias na horizontal (entre tratamentos em um mesmo dia), enquanto letras minúsculas comparam médias na vertical (entre os dias em um mesmo tratamento). Os dados são apresentados como média seguido de seu desvio padrão ($\pm$).

Índice de Maturação

O índice de maturação, conforme indicado na tabela 7, revelou que os tratamentos com coberturas retardaram significativamente o processo de maturação. Os tratamentos de CMC + Pec e a Formulação 1 destacou-se pelo seu menor índice de maturação, deste modo, tendo maior qualidade, estabilidade e valor comercial e prolongando a vida útil das frutas, conservando a umidade e a integridade do produto. A adoção de revestimentos naturais vem sendo amplamente discutida como alternativa sustentável para a preservação da qualidade pós-colheita de frutas tropicais (Castro *et al.* 2020).

Estudos como os de Castro *et al.* (2020) evidenciam a eficácia de revestimentos em retardar a maturação e preservar a qualidade das frutas. O revestimento com cera de carnaúba, por exemplo, foi avaliado para armazenamento de goiabas sob condições ambientais e de refrigeração por 12 dias. Os resultados mostraram que, embora a cera de carnaúba proporcione perda de massa e a administração de clorofila nas goiabas por até 8 dias, sua aplicação aumentou a vida útil das frutas apenas quando mantida sob condições de ambiente. Isso reforça a importância de selecionar o tipo de cobertura adequado, pois as condições de armazenamento podem influenciar significativamente a eficiência do revestimento na preservação da qualidade das frutas.

Ademais, os revestimentos naturais, como o de cera de carnaúba, se destacam não apenas por sua eficiência no prolongamento da vida útil das frutas, mas também por sua característica sustentável, atendendo a uma demanda crescente por alternativas menos impactantes ao meio ambiente. A utilização desses revestimentos contribui para uma redução

do desperdício de alimentos, mantendo as propriedades nutricionais e sensoriais das frutas por mais tempo e diminuindo a necessidade de conservantes sintéticos (Castro *et al.*, 2020).

Tabela 7 - Resultados de porcentagem de perda de massa apresentado por cada tratamento no decorrer dos 11 dias de análise

ÍNDICE DE MATURAÇÃO						
Dias	Controle	CMC + PEC	Formulação 1	Formulação 2	Formulação 3	Formulação 4
0	14,97 Aa ± 0,23	14,97Ab ± 0,22	14,95 Aab ± 0,23	14,96 Aac ± 0,25	14,97 Ab ± 0,25	14,95 Aa ± 0,22
4	16,94 Aa ± 0,23	16,77 Aa ± 0,09	14,85 Bc ± 0,37	15,46 ABab ± 0,50	15,36 ABab ± 0,40	16,80 Aa ± 0,54
6	16,10 Ba ± 0,44	13,25 Cb ± 0,26	15,57 ABbc ± 0,45	16,96 Dd ± 0,58	15,34 Aab ± 0,23	12,58 Cb ± 0,17
8	13,80 Ab ± 0,06	16,58 ABa ± 0,42	14,45 Ccd ± 0,19	13,94 ACa ± 0,09	16,91 Bc ± 0,24	16,54 Aba ± 0,08
11	13,56 ABb ± 0,36	12,20 Db ± 0,17	13,92 BCd ± 0,06	15,80 Cac ± 0,48	13,34 ACc ± 0,33	15,21 Ca ± 0,26

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si à 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas comparam médias na horizontal (entre tratamentos em um mesmo dia), enquanto letras minúsculas comparam médias na vertical (entre os dias em um mesmo tratamento). Os dados são apresentados como média seguido de seu desvio padrão ($\pm$).

Vitamina C

No que tange à vitamina C, os dados da tabela 8 confirmaram que os tratamentos com coberturas foram eficazes na preservação desse importante nutriente.

Vale ressaltar que as coberturas naturais, como as que utilizam emulsões e biopolímeros, são eficazes na retenção de vitamina C, atuando como barreiras físicas que minimizam a perda de água e a oxidação das frutas. Isso tem implicações diretas na qualidade nutricional, pois, além de proteger a vitamina C, as coberturas também ajudam a prolongar a vida útil das frutas. Estudos anteriores, como o de Moreira *et al.* (2020) e de Oliveira *et al.* (2018), já apontaram que a aplicação de biodegradáveis em frutas tropicais pode reduzir as perdas de nutrientes e aumentar o tempo de armazenamento, sem comprometer a qualidade sensorial.

Além da proteção nutricional, é importante considerar os efeitos dos tratamentos com coberturas em outros aspectos da qualidade das frutas. A goiaba e a manga são particularmente suscetíveis à ação de patógenos, como o fungo *Colletotrichum spp.*, que pode induzir doenças pós-colheita como a antracnose, prejudicando a aparência e o sabor da fruta (Francisco *et al.*, 2020). Nesse contexto, a aplicação de coberturas com propriedades antioxidantes não só contribui para a preservação da vitamina C, mas também pode atuar como uma barreira contra a entrada de microrganismos patogênicos (Francisco *et al.*, 2020).

Tabela 8 - Resultados de vitamina C (mg) apresentado por cada tratamento no decorrer dos 11 dias de análise

VITAMINA C						
Dias	Formulação					
	Controle	CMC +Pec	1	2	3	4
0	74,72 Ba ± 6,05	87,72 Aa ± 0,19	87,77 Aa ± 0,29	79,20 ABab ± 0,01	87,81 Ab ± 0,08	70,27 Bc ± 0,04
4	78,81 Aba ± 0,21	79,13 ABb ± 0,07	87,29 Aa ± 0,00	74,66 Bb ± 5,99	78,67 Abc ± 0,08	79,12 ABb ± 0,11
6	79,23 Ba ± 0,01	87,79 Aa ± 0,12	87,62 Aa ± 0,38	87,87 Aa ± 0,14	87,81 Ab ± 0,08	87,81 Aa ± 0,02
8	79,19 Ca ± 0,08	87,29 Ba ± 0,01	79,21 Cb ± 0,02	87,73 Ba ± 0,40	105,37 Aa ± 0,08	79,21 Cb ± 0,05
11	79,04 Ca ± 0,03	87,46 Ba ± 0,37	79,22 Cb ± 0,02	87,28 Ba ± 0,03	106,63 Aa ± 0,06	79,06 Cb ± 0,16

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si à 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas comparam médias na horizontal (entre tratamentos em um mesmo dia), enquanto letras minúsculas comparam médias na vertical (entre os dias em um mesmo tratamento). Os dados são apresentados como média seguido de seu desvio padrão ($\pm$).

CONSIDERAÇÕES

De maneira integrada as coberturas biodegradáveis elaboradas com CMC, óleos essenciais e LCCT tem potencial de ser uma solução vantajosa e sustentável para a conservação pós-colheita de goiabas. Além de preservar atributos sensoriais e nutricionais, essas tecnologias mostraram-se eficazes na redução de perdas associadas à deterioração de frutas. Dessa forma, ao alinhando-as às demandas contemporâneas por métodos mais sustentáveis e eficientes no

setor agroindustrial (Agência Sebrae, 2023), a aplicação das coberturas avaliadas promete ser viáveis economicamente.

Conforme discutido por Fernandes *et al.* (2021), a antracnose, provocada por fungos do gênero *Colletotrichum spp.*, é uma séria preocupação na produção de goiabas, entre outras frutas, causando grandes prejuízos econômicos. O controle dessa doença, através de fungicidas químicos, levanta preocupações ambientais e de saúde, motivando a busca por alternativas. Com isso os revestimentos aplicados não só retardaram as lesões por antracnose, mas também se mostraram eficazes na proteção das frutas, preservando sua qualidade durante o armazenamento, estabelecendo-se como uma estratégia inovadora para aumentar a durabilidade no pós colheita. Nesse cenário, a biopreservação se destaca como uma abordagem viável.

CONCLUSÃO

Os resultados encontrados demonstraram a eficácia das coberturas biodegradáveis formuladas com CMC, óleos essenciais de cravo e hortelã, além do LCCt, na conservação pós-colheita de goiabas. Essas formulações mantiveram características físico-químicas, microbiológicas e sensoriais ao longo do armazenamento, reduzindo de forma significativa os processos de manipulação em comparação ao grupo de controle. A interação entre os compostos bioativos e a matriz polimérica contribuiu para a formação de uma barreira semipermeável, que controla a transpiração e a contaminação microbiológica, preservando a qualidade nutricional das frutas.

A Formulação 1, destacou-se pela estabilidade química e aparência visual das goiabas, além da retenção de vitamina C e prevenção do crescimento microbiano. Esses resultados reforçaram o potencial das coberturas como alternativas sustentáveis aos métodos convencionais de conservação. Elas prolongaram a vida útil das frutas e reduziram perdas econômicas, mostrando-se promissoras para aplicação em larga escala no setor agroindustrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA SEBRAE. **As exportações da goiaba de Carlópolis crescem 1,142% em dois anos.** 2023. Disponível em: <https://pr.agenciasebrae.com.br/>. Acesso em: 02 jan. 2025.

AGRO SUSTENTAR. **Maiores produtores de goiaba no Brasil.** 2023. Disponível em: <https://agrosustentar.com.br/>. Acesso em: 02 jan. 2025.

AL-HIJAZEEN, M. Quality comparison of chicken meat treated with *Origanum syriacum* L. and *Origanum vulgare* L. essential oil incorporated with *Aloe vera* gel. **Applied Sciences**, v.

15, n. 1, p. 37, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/1/37>. Acesso em: 25 ago. 2025.

ALVES, M. *et al.* Contaminação microbiológica em alimentos: Salmonella spp. é o grande vilão? **Revista FAG Saúde**, v. 3, n. 1, 2024. Disponível em: <https://publicacoes.uniesp.edu.br/index.php/14/article/view/211>. Acesso em: 25 ago. 2025.

AMARIZ, A. **Caracterização, compostos bioativos e potencial antioxidante de subprodutos do processamento de frutas no submédio do Vale do São Francisco**. 2016. 141 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/7033>. Acesso em: 26 fev. 2025.

APARECIDO, L. *et al.* Potencial bioativo de frutos de goiaba-serrana. **Anais da Feira do Conhecimento Tecnológico e Científico**, n. 25, 2024. Disponível em: <https://publicacoes.ifc.edu.br/index.php/fetec/article/view/6332>. Acesso em: 25 ago. 2025.

BEFA KINKI, A. *et al.* Preservation of minced raw meat using rosemary (*Rosmarinus officinalis*) and basil (*Ocimum basilicum*) essential oils. **Cogent Food & Agriculture**, v. 10, n. 1, p. 2306016, 2024. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/23311932.2024.2306016>. Acesso em: 25 ago. 2025.

BHAVANIRAMYA, S. *et al.* Papel dos óleos essenciais na segurança alimentar: aplicações antimicrobianas e antioxidantes. **Grain & Oil Science and Technology**, v. 2, n. 2, p. 49-55, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2019.03.001>. Acesso em: 21 fev. 2025.

BONA, T. *et al.* Óleo essencial de orégano, alecrim, canela e extrato de pimenta no controle de Salmonella, Eimeria e Clostridium em frangos de corte. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 32, n.5, p. 411-418, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pvb/a/q9LnPXjVPGGrBRStsQ8mWVph/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 23 fev. 2025.

CASTRO, J.; RIBEIRO, J. **Pesquisa e desenvolvimento para a cultura da goiabeira**. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1128050>. Acesso em: 23 fev. 2025.

CHAUDHARI, A. *et al.* Melhoria da atividade antifúngica, inibitória de AFB1 e antioxidante in vitro e in situ do óleo essencial de *Origanum majorana* L. por meio de nanoemulsão e recomendação como novo conservante alimentar. **Food and Chemical Toxicology**, v. 143, p. 111536, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111536>. Acesso em: 23 fev. 2025.

COELHO, C. C. de S. *et al.* Aplicação de revestimento de fécula de mandioca e óleo essencial de cravo da índia na conservação pós-colheita de goiaba 'Pedro Sato'. **Engenharia na Agricultura**, v. 25, n. 6, p. 479–490, 2017. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v25i6.723>. Acesso em: 15 abr. 2025.

DJEBBI, T. *et al.* Chemical composition of essential oil (GC-FID and GC-MS), phenolic compounds content (LC-ESI-MS), and antioxidant activity of Eucalyptus marginata leaves

from Northern Tunisia: effect of season. **Chemistry Africa**, v. 7, n. 5, p. 2445-2452, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42250-024-00899-1>. Acesso em: 25 ago. 2025.

DURÇO, B. Tendências e desafios da aplicação dos óleos essenciais em produtos de origem animal. **Revista Agron Food Academy**, março, 2021. Disponível em: <https://agronfoodacademy.com/wp-content/uploads/2021/03/TENDENCIAS-E-DESAFIOS-DA-APLICACAO-DOS-OLEOS-ESSENCIAIS-EM-PRODUTOS-DE-ORIGEM-ANIMAL-1.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2025.

EMBRAPA. **Goiaba para exportação: aspectos técnicos da produção**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/132158>. Acesso em: 24 fev. 2025.

ESPÍNDOLA, T. *et al.* **Produção de suplemento alimentar na forma de comprimidos orais dispersíveis contendo micropartículas de proteína do soro do leite carregadas com resveratrol**. 2022. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2022. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/30867>. Acesso em: 25 ago. 2025.

FALLEH, H. *et al.* Óleos essenciais: um promissor conservante alimentar ecológico. **Química de Alimentos**, v. 330, p. 127268, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127268>. Acesso em: 21 fev. 2025.

FERNANDES, K. *et al.* **Aplicação de revestimentos à base de alginato de sódio para controle de antracnose em goiaba e manga**. 2021. Dissertação Mestrado da Universidade Federal da Paraíba. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/>. Acesso em: 02 jan. 2025.

FRANCISCO, C. B. *et al.* Shelf-life of guavas coated with biodegradable starch and cellulose-based films. **International journal of biological macromolecules**, Guildford, v. 152, p. 272-279, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.249>. Acesso em: 26 fev. 2025.

GANGAPPA, N. *et al.* Assessing the genetic diversity of guava germplasm characterized by morpho-biochemical traits. **Frontiers in Nutrition**, v. 9, p. 1017680, 2022. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2022.1017680/full>. Acesso em: 25 ago. 2025.

GARCIA, N. *et al.* Antifungal Potential Of Cashew Nut Shell Liquid In The Control Of Plant Pathogens. **Biosci. J., Uberlândia**, v. 34, n. 1, p. 95-103, Jan./Feb. 2018. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/36695/21454>. Acesso em: 26 fev. 2025.

GEROMINI, K. *et al.* Atividade antimicrobiana de óleos essenciais de plantas medicinais. Arquivos de Ciência Veterinárias e Zoologia. **UNIPAR**, Umuarama, v. 15, n. 2, p. 127-13, jul./dez 2012. Disponível em: <https://revistas.unipar.br/index.php/veterinaria/article/view/4215>. Acesso em: 26 fev. 2025.

GONÇALVES, S. *et al.* **Poder conservante e atividade antioxidante do óleo essencial de cravo da Índia adicionado em bebida láctea fermentada.** Construindo saberes, formando pessoas e transformando a pecuária nacional: 55ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2018. Disponível em:

<http://www.adaltech.com.br/anais/zootecnia2018/resumos/trab-0366.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2025.

GROSSO, A. L. *et al.* Increase of walnuts' shelf life using a walnut flour protein-based edible coating. *LWT: Food Science and Technology*, [s.l.], v. 118, p. 108712, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108712>. Acesso em: 26 fev. 2025.

GULL, S. *et al.* Um novo revestimento comestível à base de goma *Albizia* [*Albizia lebbbeck* (L.) Benth.] retarda o amolecimento e mantém a qualidade das goiabas colhidas durante o armazenamento. **Revista Internacional de Macromoléculas Biológicas**, v. 277, parte 4, out. 2024, 134096. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813024049018>. Acesso em: 14 abr. 2025.

GUTIÉRREZ-DEL-RÍO, I.; FERNÁNDEZ, J.; LOMBÓ, F. Nutracêuticos vegetais como agentes antimicrobianos na preservação de alimentos: terpenoides, polifenóis e tióis.

International Journal of Antimicrobial Agents, v. 52, n. 3, p. 309-315, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2018.04.024>. Acesso em: 22 fev. 2025.

HILLEN, T. *et al.* Atividade antimicrobiana de óleos essenciais no controle de alguns fitopatógenos fúngicos in vitro e no tratamento de sementes. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v.14, n.3, p.439-445, 2012. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbpm/a/BFTfgb4MNgYhBv47rkDK8DH/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 26 fev. 2025.

IBGE. **Produção agrícola municipal:** goiaba. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 02 jan. 2025.

KACÁNIOVÁ, M. *et al.* Antioxidant, antimicrobial and antibiofilm activity of coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil for its application in foods. **Foods**, v. 9, n. 3, p. 282, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/9/3/282>. Acesso em: 25 ago. 2025.

LEKSHMI, S. G. *et al.* Comprehensive characterization of biodegradable edible films activated with rose and marigold extracts and application of active edible coatings to extend the postharvest storage life of guava. **Food Research International**, v. 203, 2025, 115895. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996925002327>. Acesso em: 14 abr. 2025.

LEVY, N.; HASHIGUCHI, T.; CECCHINI, M. Food safety policies and their effectiveness to prevent foodborne diseases in catering establishments: a systematic review and meta-analysis.

Food Research International, v. 156, p. 111076, 2022. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996922001338>. Acesso em: 25 ago. 2025.

MAJEED, H.; IFTIKHAR, T.; ZOHAIB, M. Prolongamento da vida útil da goiaba por meio da aplicação de revestimento comestível formulado com extratos de folhas de manga e limão.

Culturas e Produtos Industriais, v. 216, 15 set. 2024, 118671. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669024006484>. Acesso em: 13 abr. 2025.

MENEZES, T. *et al.* Avaliação in vitro da atividade antifúngica de óleos essenciais e extratos de plantas da região amazônica sobre cepa de *Candida albicans*. **Revista de odontologia**, UNESP, v.38, n.3, p.184-191, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbpm/a/c3F9pVqwHFW3DqTHKXmCrXj/?lang=pt>. Acesso em: 26 fev. 2025.

MOREIRA, R. *et al.* Comparative epidemiology of three *Colletotrichum* species complex causing Glomerella leaf spot on apple. **European Journal of Plant Pathology**, v. 158, n. 2, p. 473-484, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10658-020-02089-4>. Acesso em: 25 ago. 2025.

NICOLAU-LAPEÑA, I. *et al.* Combination of ferulic acid with Aloe vera gel or alginate coatings for shelf-life prolongation of fresh-cut apples. **Food Packaging and Shelf Life**, [s.l.], v. 27, p. 100620, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100620>. Acesso em: 26 fev. 2025.

OLIVEIRA, L. *et al.* Caracterização e eficácia de um revestimento composto contendo quitosana e óleo essencial de capim-limão na qualidade pós-colheita de goiaba. **Ciência Alimentar Inovadora e Tecnologias Emergentes**, v. 66, dez. 2020, 102506. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102506>. Acesso em: 14 abr. 2025.

OLIVEIRA, M. *et al.* Antioxidant activity of phenolic compounds from plant extracts. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.18, n. 2, p. 267-275, 2007. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10552749/>. Acesso em: 24 fev. 2025.

OLIVEIRA, V. R. L. *et al.* Use of biopolymeric coating hydrophobized with beeswax in post-harvest conservation of guavas. **Food Chemistry**, Barking, v. 259, p. 55-64, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.101>. Acesso em: 23 fev. 2025.

ONIAS, E. *et al.* Revestimento biodegradável à base de *Spirulina platensis* na conservação pós-colheita de goiaba Paluma mantidas sob diferentes temperaturas de armazenamento. **Rev. de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, p. 1-12, 2018. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/16752/13643>. Acesso em: 24 fev. 2025.

ÖZTEKIN, S.; ANAYA, K.; YURDUNUSEVEN-YILDIZ, A. **Regulation of natural food additives**. In: NATURAL ADDITIVES IN FOODS. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 343-372.

PALMEIRA, K. *et al.* Qualidade de produtos semipreparados a partir de resíduos de truta arco-íris (*Onchorynchus mykiss*) utilizando diferentes estratégias tecnológicas. **Food and Nutrition Sciences**, v. 5, p. 571-580, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4236/fns.2014.56067>. Acesso em: 21 fev. 2025.

PEREIRA, M. **Estudo da atividade antimicrobiana de óleos essenciais extraídos por destilação por arraste a vapor e por extração supercrítica**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Licenciatura em Química, PUCRS, Porto Alegre,

p.60, 2010. Disponível em: <https://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/3156>. Acesso em: 23 fev. 2025.

PISOSCHI, A. *et al.* Uma visão geral do papel dos antimicrobianos naturais nos alimentos. **Jornal Europeu de Química Medicinal**, v. 143, p. 922-935, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2017.11.095>. Acesso em: 23 fev. 2025.

POPESCU, L. *et al.* Effect of microencapsulated basil extract on cream cheese quality and stability. **Molecules**, v. 28, n. 8, p. 3305, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/28/8/3305>. Acesso em: 25 ago. 2025.

RADDATZ, G.; MENEZES, C. Microencapsulação e co-encapsulação de compostos bioativos para aplicação em alimentos: desafios e perspectivas. **Ciência Rural**, v. 51, p. e20200616, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/pHJ39HHyJQDX5wshR4433Cs/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 25 ago. 2025.

SANTOS, M. *et al.* Applications of essential oils as antibacterial agents in minimally processed fruits and vegetables—A review. **Microorganisms**, v. 10, n. 4, p. 760, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-2607/10/4/760>. Acesso em: 25 ago. 2025.

SCAPINELLO, J. *et al.* Aplicação de óleos essenciais em alimentos: uma revisão sobre desafios e perspectivas. **Revista Acta Ambiental Catarinense**, v. 21, n. 1, p. 1-20, 2024. Disponível em: <https://bell.unochapeco.edu.br/revistas/index.php/acta/article/view/7740>. Acesso em: 25 ago. 2025.

SHU, C.; KIM-LEE, B.; SUN, X. Revestimento de quitosana incorporado com carvacrol melhora a qualidade pós-colheita da goiaba (*Psidium guajava*). **Horticulturae**, v. 10, n. 1, p. 80, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae10010080>. Acesso em: 15 abr. 2025.

SILVA, R. T. *et al.* Amido modificado e gelatina com óleo essencial de hortelã-pimenta para conservação de goiabas. **Food Chemistry**, v. 19, n. 1, p. 115–122, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322647658_Aplicacao_de_diferentes_revestimentos_comestiveis_na_conservacao_pos-colheita_de_goiabas_Psidium_guajava_L. Acesso em: 11 abr. 2025.

SINGH, A. Avanços recentes em revestimentos comestíveis à base de polissacarídeos, proteínas e lipídios para aumentar a vida útil da goiaba: uma revisão. **Revista Internacional de Macromoléculas Biológicas**, v. 262, parte 1, mar. 2024, 129826. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813024006299>. Acesso em: 13 abr. 2025.

SINGH, M.; SAROJA, R.; KAUR, D. Revestimento comestível de quitosana otimizado para goiaba e sua caracterização. **Medidas: Alimentos**, v. 14, jun. 2024, 100145. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772275924000121>. Acesso em: 13 abr. 2025.

STRÖHER, J.; SILVA, D.; NUNES, I. Qualidade microbiológica do queijo artesanal colonial (QAC): impacto das boas práticas de fabricação (BPF) – uma revisão sistemática. **Nutrivisa**

Revista de Nutrição e Vigilância em Saúde, v. 10, n. 1, p. e11943, 2023. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/nutrivisa/article/view/11943>. Acesso em: 25 ago. 2025.

SUELITON, B. *et al.* Análises microbiológicas em queijos de coalho recobertos com coberturas comestíveis elaboradas à base de gelatina, quitosana e extrato de romã. **Revista Interdisciplinar Científica Aplicada**, v. 17, n. 4, 2023. Disponível em: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=19807031&AN=174280913>. Acesso em: 25 ago. 2025.

TAVARES, L. R.; ALMEIDA, P. P. de; GOMES, M. F. Avaliação físico-química e microbiológica de goiaba (*Psidium guajava*) revestida com cobertura comestível à base de o-carboximetilquitosana e óleo essencial de orégano (*Origanum vulgare*). **Revista Multi-Ciência**, v. 1, n. 13, p. 20–26, 2018. DOI: <https://doi.org/10.33837/msj.v1i13.590>. Acesso em: 16 abr. 2025.

VASCONCELOS, A. M. de M. *et al.* Estudo pós-colheita de goiabas 'Paluma' (*Psidium guajava* L.) revestidas com filmes biodegradáveis com e sem associação de óleo essencial. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, p. e7409108879, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i10.8879. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/8879>. Acesso em: 15 abr. 2025.

XU, L. *et al.* Preparation and characterization of antifungal coating films composed of sodium alginate and cyclolipopeptides produced by *Bacillus subtilis*. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 143, p. 602-609, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.051>. Acesso em: 23 fev. 2025.

CAPÍTULO 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente tese evidenciou que o uso de óleos essenciais, como os de cravo e hortelã, bem como do LCCt, apresenta um elevado potencial como alternativas sustentáveis para o controle de fungos fitopatogênicos e para a conservação pós-colheita de frutas tropicais. Os resultados obtidos em ambos os estudos demonstraram que esses compostos naturais exerceram efeitos antifúngicos significativos, especialmente contra *Aspergillus* sp. e *Colletotrichum gloeosporioides*, ao mesmo tempo em que contribuíram para a manutenção dos atributos físico-químicos e microbiológicos da goiaba durante o armazenamento.

O primeiro artigo confirmou que os óleos essenciais, especialmente o de cravo, foram eficazes na inibição do crescimento micelial e na germinação de conídios, destacando-se como fungicidas promissores. O óleo de hortelã também demonstrou efeito fungistático relevante. Por outro lado, o LCCt, embora tenha apresentado resultados mais discretos nas concentrações avaliadas, indicou potencial promissor para futuras aplicações, especialmente em formulações otimizadas. Já o tratamento com o óleo vegetal de babaçu demonstrou atividade inibitória, especialmente em concentrações elevadas, indicando um uso complementar no manejo microbiológico.

No segundo artigo, verificou-se que as coberturas biodegradáveis formuladas com carboximetilcelulose, óleos essenciais e LCCt foram eficazes na conservação de goiabas, retardando perdas de massa, alterações no pH, degradação da vitamina C e crescimento microbiano. A combinação dos compostos naturais contribuiu de forma sinérgica para preservar a qualidade dos frutos, oferecendo uma alternativa viável ao uso de conservantes sintéticos. A formulação contendo a combinação dos óleos de cravo e LCCt (Formulação 1) foi a mais eficiente, destacando-se pela aparência visual e capacidade de inibir o crescimento microbiano durante o armazenamento.

A integração desses bioprodutos às práticas agrícolas e ao setor pós-colheita mostrou-se promissora, podendo reduzir a dependência de agrotóxicos e atender às exigências por alimentos mais seguros e sustentáveis. Essa abordagem também se alinhou às tendências de mercado e às políticas ambientais voltadas à redução de resíduos químicos na cadeia produtiva de alimentos. Além disso, os dados obtidos apontaram para uma perspectiva promissora de aplicação desses compostos no setor agroindustrial, tanto pela sua eficácia quanto pelo alinhamento com práticas ambientalmente responsáveis.

Estudos sobre a estabilidade das formulações, seu impacto sensorial e aceitação pelos consumidores finais se mostraram relevantes para aplicação prática. Dessa forma, concluiu-se que os óleos essenciais e o LCCt representam estratégias promissoras para o desenvolvimento de tecnologias agroindustriais limpas, contribuindo não apenas para a segurança alimentar, mas também para a preservação ambiental e para o avanço de uma agricultura mais resiliente e sustentável. Recomenda-se, contudo, a continuidade de pesquisas voltadas à elucidação dos mecanismos de ação dos compostos e à validação em condições comerciais de armazenamento e distribuição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J. C.; ALMEIDA, P. P.; GHERARDI, S. R. M. Potencial antimicrobiano de óleos essenciais: uma revisão de literatura de 2005 a 2018. **Nutr. Time**, v. 17, n. 01, p. 8623-8633, 2020. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/210906134.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2025.
- APARECIDO, L. *et al.* Potencial bioativo de frutos de goiaba-serrana. **Anais da Feira do Conhecimento Tecnológico e Científico**, n. 25, 2024. Disponível em: <https://publicacoes.ifc.edu.br/index.php/fetec/article/view/6332>. Acesso em: 25 ago. 2025.
- AQUINO, A. A. de *et al.* Conservação pós-colheita de tomate cereja orgânico com revestimento comestível e adicionado de óleo essencial de manjerição. **Estud. Pesqui. Extensão Ciências Tecnol. Aliment.**, v. 1, p. 129-153, 2021. Disponível em: <https://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=iF5cEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT77>. Acesso em: 25 ago. 2025.
- BARBOZA, H. T. G. *et al.* Filmes e revestimentos comestíveis: conceito, aplicação e uso na pós-colheita de frutas, legumes e vegetais. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. e9911931418-e9911931418, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/31418>. Acesso em: 20 mai. 2025.
- BASTIANI, D. S. *et al.* **Perspectivas e potencialidades da agroindústria brasileira do frango com a indústria 4.0. 2020.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/24705>. Acesso em: 20 mai. 2025.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, **Pecuária e Abastecimento. Balanço da produção agrícola brasileira: frutas, grãos e cereais.** Brasília: MAPA, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/producao-de-graos-brasileira-devera-chegar-a-390-milhoes-de-toneladas-nos-proximos-dez-anos/ProjeesdoAgronegocio20232033.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2025.
- CANDÉO, M. *et al.* **Cobertura comestível à base de PVA para conservação de tomates.** 2020. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/5131>. Acesso em: 18 mai. 2025.
- CHAUDHARI, A. *et al.* Melhoria da atividade antifúngica, inibitória de AFB1 e antioxidante in vitro e in situ do óleo essencial de *Origanum majorana* L. por meio de nanoemulsão e recomendação como novo conservante alimentar. **Food and Chemical Toxicology**, v. 143, p. 111536, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111536>. Acesso em: 6 jun. 2025.
- FERRÃO, S. K. *et al.* Atividade antifúngica de óleos essenciais frente a *Candida* spp. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 1, p. 100-113, 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJHR/article/view/5915>. Acesso em: 19 mai. 2025.
- FILHA, A. J. A. B. *et al.* Óleos essenciais e extratos alcoólicos: uma comparação da atividade antifúngica contra *Candida* spp. **ARACÊ**, v. 7, n. 6, p. 30213-30226, 2025. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/5696>.

GALHARDO, M. C. G.; VALLE, F. F.; VALLE, A. C. F. (Ed.) **Dermatologia & doenças infecciosas: fundamentos e condutas**. Rio de Janeiro: SciELO-Editora FIOCRUZ, 2022.

GOES, V. N. *et al.* Aplicabilidade do alecrim (*Rosmarinus officinalis*) como potencial fitoterápico na Odontologia: uma revisão da literatura. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e645974767-e645974767, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/4767>.

GUIMARÃES, M. C. *et al.* Desenvolvimento de revestimento ativo à base de fécula de mandioca e óleo essencial de aroeira (*Shinus terebinthifolius Raddi*) aplicado em brócolis. 2020. Disponível em: <https://rima.ufrj.br/jspui/handle/20.500.14407/11021>. Acesso em: 12 mai. 2025.

IQBAL, S. Z. *et al.* Application of carboxymethylcellulose in combination with essential oils nano-emulsions edible coating for the preservation of kiwifruit. **International Journal of Biological Macromolecules**, [S.l.], v. 261, pt. 2, p. 129947, mar. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129947>. Acesso em: 6 jun. 2025.

KAČÁNIOVÁ, M. *et al.* Antioxidant, antimicrobial and antibiofilm activity of coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil for its application in foods. **Foods**, v. 9, n. 3, p. 282, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/9/3/282>. Acesso em: 25 ago. 2025.

LEE, L. T. *et al.* Fungitoxidade e composição química do óleo essencial de alecrim (*Rosmarinus officinalis*) sobre o *Aspergillus flavus*. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e202985628-e202985628, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/342598360_Fungitoxidade_e_composicao_quimica_do_oleo_essencial_de_alecrim_Rosmarinus_officinalis_sobre_o_AspERGillus_flavus. Acesso em: 18 mai. 2025.

MEI, L. *et al.* Characterization of Carboxymethyl Cellulose Films Incorporated with Chinese Fir Essential Oil and Their Application to Quality Improvement of Shine Muscat Grape. **Coatings, Basel**, v. 11, n. 1, p. 97, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/coatings11010097>. Acesso em: 6 jun. 2025.

MOREIRA, R. *et al.* Comparative epidemiology of three *Colletotrichum* species complex causing Glomerella leaf spot on apple. **European Journal of Plant Pathology**, v. 158, n. 2, p. 473-484, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10658-020-02089-4>. Acesso em: 25 ago. 2025.

QUINTELLA, G. L. P. **Atividade antimicrobiana do óleo essencial de laranja:** suscetibilidade microbiana e potencial aplicação na indústria alimentar. 2024. Tese (Doutorado) — Universidade de Lisboa, Faculdade de Medicina Veterinária. Disponível em: <https://repositorio.ulisboa.pt/handle/10400.5/97744>.

QUEIROZ, T. N. *et al.* Extratos e óleos essenciais como alternativa no controle de *Sclerotinia sclerotiorum* e *Sclerotium rolfsii* isolados de soja (*Glycine max* L.). **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 2, p. 737-753, 2020. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/download/6238/6259>.

SANTOS, A. F. *et al.* Atividade antifúngica de óleos essenciais de alecrim (*Rosmarinus officinalis*) e cravo (*Syzygium aromaticum*) em pão de forma. **Recital-Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG**, v. 3, n. 2, p. 177-189, 2021. Disponível em: <https://recital.almenara.ifnmg.edu.br/recital/article/view/160>.

SANTOS, L. A. L. *et al.* Biocontrole da antracnose em frutos de mamoeiro por bactérias epifíticas formadoras de biofilme. **Summa Phytopathologica**, v. 47, p. 45-53, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sp/a/4gP3rtZ8n89KzHsgntCTqJC/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 20 mai. 2025.

SARRIA, S. D.; ZAPATA, J. I. H.; BERMÚDEZ, A. A. Edible coatings with avocado oil on the quality of ‘Tommy Atkins’ mangoes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 47, p. e001423, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/NMnNmP7BhK5kgDhLwQDP79v/>. Acesso em: 16 mai. 2025.

SIMSEK, M.; EKE, B.; DEMIR, H. Characterization of carboxymethyl cellulose-based antimicrobial films incorporated with plant essential oils. **International Journal of Biological Macromolecules**, [S.l.], v. 163, p. 2172–2179, 15 nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.075>. Acesso em: 6 jun. 2025.

SOUZA, R. V. *et al.* Potencial antifúngico de constituintes de óleos essenciais. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e457101220537-e457101220537, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/20537>. Acesso em: 20 mai. 2025.

VIEIRA, P. K. S. **Desenvolvimento e avaliação físico-química e microbiológica de bebida láctea fermentada adicionada do óleo essencial de *Syzygium aromaticum***. 2025. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/250118665.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2025.