

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE NUTRIÇÃO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

BRUNA RAFAELLE RODRIGUES PONTES

**AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DE REVESTIMENTOS BIOPOLIMÉRICOS DE
MUCILAGENS DE CACTÁCEAS INCORPORADOS COM CULTURA MISTA DE
BACTÉRIAS LÁTICAS PARA O CONTROLE DE *Colletotrichum* sp. EM ABACATE**

João Pessoa - PB

2025

BRUNA RAFAELLE RODRIGUES PONTES

**AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DE REVESTIMENTOS BIOPOLIMÉRICOS DE
MUCILAGENS DE CACTÁCEAS INCORPORADOS COM CULTURA MISTA DE
BACTÉRIAS LÁTICAS PARA O CONTROLE DE *Colletotrichum* sp. EM ABACATE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Nutrição da Universidade Federal da Paraíba, como requisito obrigatório para aquisição do título de Bacharel em Nutrição.

Orientadora: Prof^a Dra. Kataryne Árabe Rimá de Oliveira

João Pessoa - PB

2025

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

P814a Pontes, Bruna Rafaelle Rodrigues.

Avaliação da eficácia de revestimentos biopoliméricos de mucilagens de cactáceas incorporados com cultura mista de bactérias lácticas para o controle de *Colletotrichum* sp. em abacate / Bruna Rafaelle Rodrigues Pontes. - João Pessoa, 2025.

60 f. : il.

Orientadora : Kataryne Árabe Rimá de Oliveira.
TCC (Graduação) - UFPB/CCS.

1. *Colletotrichum* sp. 2. Biopreservação. 3. Controle biológico. 4. Abacate. I. Oliveira, Kataryne Árabe Rimá de. II. Título.

UFPB/CCS

CDU 582.288

BRUNA RAFAELLE RODRIGUES PONTES

AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DE REVESTIMENTOS BIOPOLIMÉRICOS DE MUCILAGENS DE CACTÁCEAS INCORPORADOS COM CULTURA MISTA DE BACTÉRIAS LÁTICAS PARA O CONTROLE DE *Colletotrichum* sp. EM ABACATE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Nutrição da Universidade Federal da Paraíba, como requisito obrigatório para aquisição do título de Bacharel em Nutrição.

Aprovado em 25 de Setembro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **KATARYNE ARABE RIMA DE OLIVEIRA**
Data: 01/10/2025 10:26:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Kataryne Árabe Rimá de Oliveira – DN/CCS/UFPB

Orientadora

UFPB

Documento assinado digitalmente
 **MARIA ELIEIDY GOMES DE OLIVEIRA**
Data: 01/10/2025 11:15:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Maria Elieidy Gomes de Oliveira – DN/CCS/UFPB

Examinadora

UFPB

Documento assinado digitalmente
 **VIVIANE PRISCILA BARROS DE MEDEIROS**
Data: 01/10/2025 11:40:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Viviane Priscila Barros de Medeiros – PPGCN/CCS/UFPB

Examinadora

UFPB

Dedico este trabalho à minha primeira paciente,
vó Rita (*in memoriam*). Sua força, coragem e
amor incondicional sempre foram inspiração.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal da Paraíba (UFPB), pela oportunidade de experienciar os três pilares acadêmicos, de monitoria, extensão e, especialmente, de iniciação científica (IC), que me permitiu desenvolver esse trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de IC, o que também possibilitou o desenvolvimento dessa pesquisa.

À Professora Dra. Kataryne Árabe Rimá de Oliveira, por aceitar ser minha orientadora, por todos os ensinamentos, paciência e dedicação durante todo o processo. Seu amor pela pesquisa transborda e contagia todos ao redor, obrigada por ser uma inspiração.

À Natália de Souza Bento, por ser minha coorientadora. Agradeço o apoio, dedicação e parceria na execução dos experimentos, sua colaboração foi essencial.

Aos membros da banca examinadora, Professora Dra. Maria Elieidy Gomes de Oliveira e Professora Dra. Viviane Priscila Barros de Medeiros, pela disponibilidade e valiosas contribuições ao trabalho.

Ao Laboratório de Microbiologia e Bioquímica dos Alimentos (LMBA/DN/CCS/UFPB) e a todos que fazem parte das equipes técnica, docente e discente, pelo convívio enriquecedor, apoio constante e valiosas aprendizagens compartilhadas.

Ao Laboratório de Bromatologia (DN/CCS/ UFPB) sob a coordenação da Professora Dra. Maria Elieidy Gomes de Oliveira, por conceder o espaço e equipamentos essenciais para a realização das análises do presente trabalho.

À Maria Sueli Rodrigues Pontes e Robson Sales Pontes, meus amados pais, por todo amor, carinho, dedicação e incentivo. Não teria chegado até aqui sem o apoio e luta diária de vocês. Creio que vocês acreditam mais em mim do que eu mesma, sou completamente grata por tudo que fazem por mim, amo-os eternamente.

À toda minha família, que me apoia e sempre acreditou no meu potencial, em especial às minhas tias Maria Rodrigues, Lúcia Maria e Josy Teixeira, por sempre estarem presentes e me ampararem, principalmente quando me mudei para João Pessoa.

À Taynnar Hellen, minha grande amiga que fiz na graduação, obrigada por todos os momentos compartilhados durante esses 4 anos, sua presença tornou a jornada bem mais leve.

À Marcela Noemi, Cecília Cavalcante, Rafael Brasileiro, Francielle Ramos, Rávina Beatriz e Ana Letícia, por serem um pedacinho de mim em Campina Grande, e mesmo estando longe sempre estiveram presentes.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho, meu muito obrigada!

“Como as pessoas não têm asas, buscamos formas
de voar”

(Ukai Ikkei)

RESUMO

O abacate (*Persea americana* Mill.) tem ganhado destaque no setor agrícola global devido ao seu elevado valor nutricional e aos diversos benefícios associados à saúde, como a redução do risco de doenças cardiovasculares, o auxílio no controle do peso corporal, a melhora das funções digestiva e intestinal, além de potenciais efeitos positivos sobre a cognição e a saúde da pele. No entanto, por ser uma fruta climatérica, torna-se suscetível à ação de fitopatógenos, com destaque para o *Colletotrichum* sp., agente causal da antracnose. Embora o controle da doença seja comumente realizado com fungicidas químicos, a aplicação desses compostos está associada a impactos ambientais e risco de resistência microbiana. Alternativamente, revestimentos comestíveis à base de fontes naturais, incorporados com bactérias lácticas (BAL) surgem como uma estratégia promissora de biopreservação. Dentre as matrizes utilizadas em revestimentos, as mucilagens de cactáceas destacam-se por serem materiais biodegradáveis, com elevada capacidade de retenção hídrica, atividade antioxidante e propriedades reológicas que favorecem a estabilidade e a funcionalidade em sistemas alimentícios. Dessa forma, este estudo objetivou avaliar o potencial de aplicação de revestimentos formulados com mucilagens de palma (*Nopalea cochenillifera*) e o facheiro (*Pilosocereus pachycladus*) adicionadas de cultura mista de BAL para o controle de *Colletotrichum* sp. em abacate. Para isso, mucilagens de diferentes espécies de cactáceas foram obtidas por extração etanólica e avaliadas quanto aos parâmetros físicos e físico-químicos. Mucilagens e cepas de BAL (a saber: *Levilactobacillus brevis* 59; *Lactiplantibacillus pentosus* 129; *Lacticaseibacillus paracasei* 108; *Lactiplantibacillus plantarum* 49; *Limosilactobacillus fermentum* 263; 9–10 log UFC/g), isoladas e combinadas em cultura mista, foram utilizadas em testes antifúngicos *in vitro* frente a isolados de *Colletotrichum siamense*. A atividade antifúngica foi avaliada através dos métodos de difusão em poços e determinação da concentração inibitória mínima (CIM). Revestimentos formulados foram aplicados em abacates artificialmente contaminados com *Colletotrichum* sp., e o percentual de redução no diâmetro da lesão de antracnose (RLDA%) foi avaliada durante 7 dias de armazenamento a $25 \pm 1^\circ\text{C}$. As mucilagens avaliadas apresentaram propriedades físico-químicas com relevância tecnológica, incluindo pH ácido, baixa atividade de água, adequada solubilidade e moderada atividade antioxidante. Também foram capazes de inibir o crescimento micelial de *C. siamense*, com resultados diretamente proporcionais à concentração aplicada. As BAL exibiram potencial antifúngico, especialmente as cepas *Lactiplantibacillus pentosus* 129, *Lactiplantibacillus plantarum* 49 e *Limosilactobacillus fermentum* 263, utilizadas na formulação da cultura mista. A incorporação da cultura mista de BAL aos revestimentos de mucilagem resultou no aumento da capacidade antifúngica, com %RLDA variando de 16,9% a 100% nas frutas tratadas. Particularmente, a combinação da mucilagem de palma com BAL apresentou maior estabilidade e funcionalidade ao longo do armazenamento. Os resultados demonstraram que as mucilagens de cactáceas, especialmente quando incorporadas com cultura mista de BAL, apresentaram elevado potencial para aplicação como revestimentos bioprotetores, favorecendo a conservação pós-colheita e o aumento da vida útil do abacate.

Palavras-chave: Biopreservação; controle biológico; *Colletotrichum* sp.; abacate.

ABSTRACT

Avocado (*Persea americana* Mill.) has gained prominence in the global agricultural sector due to its high nutritional value and various health benefits, such as reducing the risk of cardiovascular disease, aiding in weight control, improving digestive and intestinal functions, and potential positive effects on cognition and skin health. However, as a climacteric fruit, it is susceptible to phytopathogens, particularly *Colletotrichum* sp., the causal agent of anthracnose. Although the disease is commonly controlled with chemical fungicides, the application of these compounds is associated with environmental impacts and the risk of microbial resistance. Alternatively, edible coatings based on natural sources, incorporated with lactic acid bacteria (LAB), emerge as a promising biopreservation strategy. Among the matrices used in coatings, cactus mucilages stand out for being biodegradable materials with high water retention capacity, antioxidant activity, and rheological properties that favor stability and functionality in food systems. Thus, this study aimed to evaluate the application potential of coatings formulated with mucilage from the palm (*Nopalea cochenillifera*) and the cactus (*Pilosocereus pachycladus*) with the addition of a mixed LAB culture for the control of *Colletotrichum* sp. in avocados. For this purpose, mucilages from different species of cacti were obtained by ethanolic extraction and evaluated for physical and physicochemical parameters. Mucilages and LAB strains (namely: *Levilactobacillus brevis* 59; *Lactiplantibacillus pentosus* 129; *Lactiacaseibacillus paracasei* 108; *Lactiplantibacillus plantarum* 49; *Limosilactobacillus fermentum* 263; 9–10 log CFU/g), isolated and combined in mixed culture, were used in *in vitro* antifungal tests against isolates of *Colletotrichum siamense*. Antifungal activity was evaluated using the well diffusion method and minimum inhibitory concentration (MIC) determination. Formulated coatings were applied to avocados artificially contaminated with *Colletotrichum* sp., and the percentage reduction in anthracnose lesion diameter (RLDA%) was evaluated during 7 days of storage at $25 \pm 1^\circ\text{C}$. The mucilages evaluated presented physicochemical properties with technological relevance, including acidic pH, low water activity, adequate solubility, and moderate antioxidant activity. They were also able to inhibit the mycelial growth of *C. siamense*, with results directly proportional to the concentration applied. The LAB exhibited antifungal potential, especially the strains *Lactiplantibacillus pentosus* 129, *Lactiplantibacillus plantarum* 49, and *Limosilactobacillus fermentum* 263, used in the formulation of the mixed culture. The incorporation of the mixed LAB culture into the mucilage coatings resulted in increased antifungal capacity, with RDLA% ranging from 16.9% to 100% in the treated fruits. In particular, the combination of palm mucilage with LAB showed greater stability and functionality throughout storage. The results demonstrated that cactus mucilages, especially when incorporated with BAL mixed culture, showed high potential for application as bioprotective coatings, favoring post-harvest conservation and increasing the shelf life of avocados.

Keywords: Biopreservation; biological control; *Colletotrichum* sp.; avocado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Arbusto cactáceo da palma mão de moça (<i>Nopalea cochenillifera</i>).....	20
Figura 2 – Estrutura do cladódio da palma mão de moça (<i>Nopalea cochenillifera</i>).....	20
Figura 3 – Arbusto cactáceo colunar do facheiro (<i>Pilosocereus pachycladus</i>).....	21
Figura 4 – Estrutura do cladódio do facheiro (<i>Pilosocereus pachycladus</i>).....	22
Figura 5 – Métodos de aplicação de revestimentos em superfícies de frutas.....	22
Figura 6 – Etapas do delineamento experimental do estudo.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características físicas e físico-químicas das mucilagens do facheiro (<i>Pilosocereus pachycladus</i>) e da palma (<i>Nopalea cochenilifera</i>).....	35
Tabela 2 – Inibição do crescimento micelial (ICM%, média $\pm$ desvio padrão) de <i>Colletotrichum</i> sp. causada por bactérias lácticas (BAL), isoladas e em cultura mista.....	38
Tabela 3 – Inibição do crescimento micelial (ICM%, média $\pm$ desvio padrão) de <i>Colletotrichum siamense</i> causada por mucilagens de facheiro (<i>Pilosocereus pachycladus</i>) e palma (<i>Nopalea cochenilifera</i>) adicionadas de cultura mista de bactérias lácticas (BAL).....	38
Tabela 4 – Inibição do crescimento micelial (ICM%, média $\pm$ desvio padrão) de <i>Colletotrichum siamense</i> causada por mucilagens de facheiro (<i>Pilosocereus pachycladus</i>) e palma (<i>Nopalea cochenilifera</i>) em diferentes concentrações.....	39
Tabela 5 – Percentual (média $\pm$ desvio-padrão, n: 3) de redução do diâmetro das lesões de antracnose em abacate cv. Margarida revestido com mucilagem de facheiro (<i>Pilosocereus pachycladus</i>), mucilagem de palma (<i>Nopalea cochenilifera</i>) ou mucilagens das cactáceas adicionadas com cultura mista de bactérias lácticas (BAL) e inoculado com distintos isolados patogênicos de <i>Colletotrichum siamense</i> , durante 7 dias de armazenamento em temperatura ambiente (25 ± 1 °C).....	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 CULTURA E COMERCIALIZAÇÃO DO ABACATE.....	13
2.2 PERDAS PÓS-COLHEITA.....	14
2.2.1 Antracnose em abacate.....	15
2.3 BACTÉRIAS LÁTICAS COMO BIOPRESERVANTES EM FRUTAS.....	17
2.4 CACTÁCEAS COMO FONTES DE BIOPOLÍMEROS NATURAIS.....	18
2.4.1 Palma e Facheiro.....	19
2.5 REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS EM FRUTAS.....	22
2.5.1 Revestimentos elaborados com mucilagem de cactáceas.....	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	26
3.2 LOCAL DE EXECUÇÃO DA PESQUISA.....	27
3.3 OBTENÇÃO E PROCESSAMENTO DAS MATÉRIAS-PRIMAS.....	27
3.4 MICRORGANISMOS TESTES E CONDIÇÕES DE CRESCIMENTO.....	27
3.5 EXTRAÇÃO DA MUCILAGEM DAS CACTÁCEAS.....	28
3.6 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DO PÓ DAS MUCILAGENS DE FACHEIRO E PALMA.....	29
3.7 AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIFÚNGICA DE CEPAS DE BAL E MUCILAGENS DE CACTÁCEAS FRENTE A <i>C. siamense in vitro</i>	31
3.7.1 Método difusão em poços.....	31
3.7.2 Determinação da Concentração Inibitória Mínima (CIM).....	32
3.8 ELABORAÇÃO DOS REVESTIMENTOS FORMULADOS COM MUCILAGEM DE CACTÁCEAS ADICIONADOS DE BACTÉRIAS LÁTICAS.....	32
3.8.1 Avaliação dos efeitos dos revestimentos sobre o desenvolvimento e severidade de antracnose em abacate.....	33
3.9 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DO PÓ DAS MUCILAGENS	

DE FACHEIRO E PALMA.....	34
4.2 ATIVIDADE ANTIFÚNGICA DE CEPAS DE BAL E MUCILAGENS DE CACTÁCEAS FRENTE A <i>C. siamense in vitro</i>	36
4.2.1 Método difusão em poços.....	36
4.2.2 Determinação da Concentração Inibitória Mínima (CIM).....	38
4.3 EFEITOS DOS REVESTIMENTOS SOBRE O DESENVOLVIMENTO E SEVERIDADE DE ANTRACNOSE EM ABACATE.....	40
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

O abacate (*Persea americana* Mill.) vem ganhando relevância no setor agrícola global, especialmente devido à qualidade alimentar e nutricional, caracterizada pela presença de gorduras monoinsaturadas, fibras e vitaminas benéficas à saúde, o que o torna particularmente atrativo para consumidores que buscam uma alimentação saudável (Huang *et al.*, 2023, Marra *et al.*, 2024). De acordo com a Food and Agriculture Organization (FAO), estima-se que o abacate se tornará a fruta tropical mais comercializada no mundo até 2030 (FAO, 2023).

No Brasil, a produção de abacate tem se diversificado e expandido, abrangendo não apenas o cultivo da fruta para o consumo interno, mas também com agregação de valor por meio da produção de óleos, polpas congeladas e para exportação (Julio; Bueno, 2022). Dentre os cultivares com maior aceitação comercial, destaca-se o ‘Margarida’, que apresenta rápido amadurecimento, elevado rendimento de polpa, firmeza da textura e baixa proporção de semente em relação à massa total do fruto (Sampaio; Whately, 2022).

Contudo, por se tratar de uma fruta climatérica, cujo processo de amadurecimento prossegue após a colheita, o abacate torna-se suscetível ao desenvolvimento de diversas fitopatologias que podem ocasionar significativas perdas econômicas e impactos ambientais (Silva *et al.*, 2021). Dentre as doenças pós-colheita mais prevalentes na cadeia produtiva do abacate, a antracnose, causada por espécies do gênero *Colletotrichum*, destaca-se como a mais severa (Fischer; Firmino, 2023).

A antracnose caracteriza-se pelo desenvolvimento de lesões necróticas de coloração escura, inicialmente restritas à epiderme, mas que podem avançar até a polpa, comprometendo a integridade estrutural e a qualidade do fruto (Bustamante *et al.*, 2022). Essas lesões tornam-se mais evidentes durante as etapas de transporte, armazenamento e comercialização, repercutindo na redução do valor comercial do produto (Santos *et al.*, 2023).

A aplicação de fungicidas sintéticos, como hidróxido de cobre, procloraz e azoxistrobina, ainda é a principal estratégia para minimizar os danos causados pela antracnose (González-Gutiérrez; Ragazzo-Sánchez; Calderón-Santoyo, 2024). No entanto, essa abordagem gera impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana, além de exigir altos custos. Ademais, os limites máximos de resíduos de pesticidas permitidos em abacates têm se tornado cada vez mais restritivos (Osondu *et al.*, 2022; Antônia *et al.*, 2024).

Diante desse cenário, diversas abordagens têm sido investigadas para o controle de patógenos em frutas, com destaque para a aplicação de revestimentos comestíveis, cuja principal função é estender a vida útil dos alimentos (Freitas *et al.*, 2022). Esses revestimentos

atuam como matrizes funcionais sobre a superfície da fruta, formando barreiras semipermeáveis que reduzem a taxa respiratória, retardam o amadurecimento e inibem o crescimento de microrganismos patogênicos (Melo *et al.*, 2024).

Nos últimos anos, pesquisas têm evidenciado o potencial funcional e tecnológico das mucilagens de cactáceas na formação de revestimentos que apresentam elevada capacidade de retenção de água, propriedades antioxidantes e eficiência no transporte de compostos bioativos. Entre as espécies de cactáceas, destacam-se a palma Mão de Moça (*Nopalea cochenillifera*) e a Forrageira (*Opuntia ficus-indica*) (De Medeiros *et al.*, 2024). As mucilagens extraídas dessas cactáceas são constituídas por uma rede de polissacarídeos, composta principalmente por arabinose, galactose, ramnose e ácido galacturônico, apresentando alta viscosidade, além de serem comestíveis e biodegradáveis (Rodríguez-González *et al.*, 2022).

De maneira geral, após a aplicação na fruta, a mucilagem pode atuar como uma barreira semipermeável, modulando a difusão de gases respiratórios e a perda de água, o que contribui para o controle do processo de amadurecimento de frutas (Rodrigues *et al.*, 2023). Além disso, a funcionalidade destes revestimentos pode ser aumentada por meio da incorporação de microrganismos bioprotetores, como bactérias lácticas (BAL), otimizando a aplicação na superfície das frutas, potencializando a atividade antimicrobiana e a preservação pós-colheita (Rahmati-Joneidabad *et al.*, 2025).

As BAL receberam o status GRAS (*Generally Recognized as Safe*) pela *Food and Drug Administration* e QPS (*Qualified Presumption of Safety*) pela Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (Gajendran; Rajamani, 2024). A atividade antifúngica dessas bactérias está associada a mecanismos multifatoriais, incluindo a produção de compostos antimicrobianos, a competição por nutrientes e a modulação do microambiente, o que contribui para o aumento da vida útil e a manutenção da qualidade de frutas (Agriopoulou *et al.*, 2020; Quattrini *et al.*, 2019).

Portanto, este estudo teve como objetivo avaliar o potencial de aplicação de revestimentos elaborados a partir das mucilagens de palma e facheiro, adicionadas com cultura mista de BAL para o controle de *Colletotrichum* sp. em abacates. Especificamente, foram realizados o processo obtenção e caracterização físico-química do pó de mucilagem de palma e facheiro; avaliação dos efeitos das BAL, de forma individual e em cultura mista, e da mucilagem *in natura* sobre o crescimento micelial de isolados de *Colletotrichum* sp. em ensaios *in vitro*, além da análise da eficácia dos revestimentos formulados no controle da antracnose em abacate da cultivar Margarida.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CULTURA E COMERCIALIZAÇÃO DO ABACATE

O abacate (*Persea americana*) é um fruto de origem latino-americana, cultivado principalmente em regiões de clima tropical e subtropical, e com maior diversidade concentrada no México e na Guatemala (Fischer *et al.*, 2017). Pertencente à família *Lauraceae*, o abacateiro produz diferentes cultivares, das quais as mais comercializadas e consumidas no Brasil incluem avocado (*Hass*), a Breda, a Quintal, a Margarida, a Geada, o Ouro Verde e a Fortuna (Duarte *et al.*, 2016).

Embora frequentemente seja confundido como um vegetal, o abacate é um fruto versátil, amplamente utilizado em preparações culinárias devido ao seu sabor agradável e aos seus diversos benefícios nutricionais e funcionais (Bhore *et al.*, 2021). Apresenta uma camada externa rígida, enquanto o núcleo ao redor da semente é carnoso, com polpa predominantemente amarelo-esverdeada, lisa e com textura amanteigada, semelhante à de uma banana firme e madura; podendo apresentar variações conforme a espécie (Bhore *et al.*, 2021).

Além disso, caracteriza-se como um fruto climatérico, o que significa que continua seu processo de amadurecimento mesmo após a colheita (Ni *et al.*, 2023). Esse fenômeno está associado à sua elevada taxa respiratória, alto teor de umidade e à delicadeza dos tecidos, características que o tornam altamente perecível e suscetível a alterações físico-químicas. Consequentemente, apresenta vida útil reduzida após a colheita, sendo vulnerável ao desenvolvimento de doenças e à proliferação de microrganismos, fatores que exigem um consumo mais rápido após a aquisição (Ni *et al.*, 2023).

No geral, o abacate tem se destacado no setor de frutas na última década, com projeções de crescimento na comercialização até 2030, prevendo exportações globais superiores a quatro milhões de toneladas. Esse volume superaria as exportações de abacaxi e manga, ficando atrás apenas da banana (Barbieri; Geraldini; Boteon, 2023). No Brasil, a produção de abacate tem ganhado relevância nos últimos anos, alcançando cerca de 422.545 toneladas em 2023, o que representa um aumento de 24,93% em relação ao ano anterior, quando foram produzidas 338.238 toneladas (IBGE, 2023). Essa produção está concentrada principalmente nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, com destaque para os estados de São Paulo e Minas Gerais como os maiores produtores (Júlio; Bueno, 2022).

Esse aumento da produção e, conseqüentemente, do consumo do abacate pode estar relacionado aos inúmeros benefícios à saúde atribuídos ao fruto, como a redução do risco de doenças cardiovasculares, o controle do peso corporal, a melhora da função digestiva e intestinal, além de efeitos positivos sobre a cognição e a saúde da pele (Edwards *et al.*, 2020). Tais efeitos são associados à presença de fitoquímicos como luteína, zeaxantina e fitoesteróis, bem como de micronutrientes como magnésio, potássio, vitamina K e folato, e das fibras alimentares que compõem grande parte dos carboidratos do abacate (Thompson *et al.*, 2021).

Outra característica relevante do abacate é seu potencial para melhorar o perfil lipídico, devido à elevada concentração de ácidos graxos monoinsaturados (MUFAs). Esses compostos estão associados ao aumento dos níveis de colesterol High Density Lipoprotein (HDL) e à redução do Low Density Lipoprotein (LDL), sendo uma alternativa mais saudável em comparação às gorduras trans e saturadas. Esse perfil lipídico favorável contribui para a prevenção de doenças cardiovasculares e acidentes vasculares encefálicos, além de auxiliar no controle da dislipidemia e promover maior sensação de saciedade (Dreher; Cheng; Ford, 2021; James-Martin *et al.*, 2024).

2.2 PERDAS PÓS-COLHEITA

O período pós-colheita envolve a aplicação de técnicas voltadas à conservação de produtos agrícolas, abrangendo as etapas de colheita, manuseio, transporte, armazenamento, comercialização, consumo final ou processamento industrial (Amorim *et al.*, 2017). Todas essas etapas devem ser conduzidas de forma controlada, visando à manutenção da integridade e da qualidade do produto, considerando que cada cultura apresenta requisitos específicos de temperatura, umidade relativa, tipo de embalagem e estágio de maturação na colheita, os quais são determinantes para a extensão da vida útil e para a segurança do alimento (Amorim *et al.*, 2017).

De acordo com a Comissão de Segurança Alimentar (CSA), uma quantidade elevada de alimentos é desperdiçada ao longo das cadeias de abastecimento em nível global, variando entre 33% e 50% de toda a produção (FAO, 2025). Em países com menor suporte tecnológico na agricultura, a média de perdas pós-colheita é de 35% a 40%, enquanto em países como os Estados Unidos, que investem em medidas tecnológicas de conservação e manuseio, as perdas não chegam a 10% (FAO, 2025). Entre os principais fatores que contribuem para essas perdas pós-colheita estão as falhas nas condições de armazenamento, transporte inadequado, manuseio incorreto e a influência de condições climáticas adversas (Etefa; Forsido; Kebede,

2022). Produtos perecíveis, como frutas e hortaliças exigem controle rigoroso de temperatura e da manipulação para evitar a deterioração precoce (Etefa; Forsido; Kebede, 2022).

Outro fator relevante no período pós-colheita de frutas é a elevada taxa de respiração e a produção de etileno, características de frutas climatéricas, que continuam o processo de amadurecimento mesmo após a colheita (Liu *et al.*, 2024). Essas frutas exigem condições controladas de armazenamento para prolongar sua vida útil e preservar atributos naturais como sabor, textura e valor nutricional. Por isso, torna-se fundamental a adoção de técnicas eficazes de conservação, que minimizem o estresse fisiológico e evitem danos físicos durante o manuseio e transporte (Bordoh *et al.*, 2020).

Em detrimento à combinação desses fatores, as frutas se tornam mais suscetíveis a doenças pós-colheita, principalmente causadas por fungos e bactérias fitopatogênicas (Sharma *et al.*, 2023). Esses patógenos geralmente penetram nos tecidos vegetais por meio de lesões, cortes ou outros danos na casca, onde encontram condições favoráveis para seu desenvolvimento e proliferação (Moradinezhad; Ranjbar, 2023). A ocorrência dessas infecções é mais frequente durante as etapas de manuseio, transporte e armazenamento, períodos em que estão mais vulneráveis aos danos mecânicos (Moradinezhad; Ranjbar, 2023).

Os fungos destacam-se entre os microrganismos causadores de doenças pós-colheita, devido sua capacidade de invadir diretamente a epiderme de tecidos vegetais, germinando esporos quando as condições ambientais (como pH, temperatura, umidade, disponibilidade de nutrientes e oxigênio), são favoráveis (Rhoden *et al.*, 2019; Moradinezhad; Ranjbar, 2023). De acordo com Srivastava; Singh (2022), os gêneros fúngicos mais prevalentes nas doenças pós-colheita incluem: *Colletotrichum*, *Botrytis*, *Monilinia*, *Rhizopus*, *Diplodia*, *Sclerotinia*, *Penicillium*, *Phomopsis*, *Botryosphaeria* e *Alternaria*.

2.2.1 Antracnose em abacate

Entre as doenças fúngicas que afetam o abacate pós-colheita, destaca-se a antracnose, caracterizada por ampla ocorrência em todas as regiões produtoras da fruta (Silva *et al.*, 2022). As condições ambientais que favorecem a proliferação dessa fitopatologia incluem alta umidade relativa (> 90%) e temperaturas entre 22 °C e 32 °C (Moreira *et al.*, 2023). O principal agente causal é representado por isolados do gênero *Colletotrichum* spp., que se sobressaem entre os patógenos, provocando significativas perdas econômicas ao comprometerem a qualidade do produto, sobretudo durante o armazenamento e transporte (Gallardo-Camarena *et al.*, 2025).

Os sintomas da antracnose aparecem principalmente no período pós-colheita e durante o amadurecimento, caracterizando-se por pequenas lesões circulares de coloração marrom-claro, com delimitação nítida entre as áreas infectadas e não infectadas do tecido vegetal (Jin *et al.*, 2021). Essas lesões apresentam rápida expansão na superfície da fruta, alterando sua coloração para um tom marrom-escuro e atingindo a polpa, o que provoca a necrose do tecido (Bustamante *et al.*, 2022). As lesões de coloração mais escura resultam de infecções latentes, sendo mais difíceis de serem avaliadas em abacates de espécies com casca enegrecida. Além disso, essas lesões podem ocorrer, embora com menor frequência, em frutas verdes ainda na planta, causando queda prematura antes do amadurecimento completo (Jin *et al.*, 2021).

A antracnose também pode afetar outros órgãos das plantas como as folhas, galhos e flores, especialmente sob condições de alta umidade (Silva *et al.*, 2022). Nas folhas, a doença manifesta-se por manchas necróticas de coloração escura, com formato irregular, ondulações e encanoamento, levando à queda foliar progressiva conforme aumenta a severidade da infecção (Fang *et al.*, 2021). Nas flores, a infecção causa murchamento e queda prematura, enquanto nos galhos observa-se a formação de necroses escuras e secas (Fantinel *et al.*, 2021).

Diante desse cenário, torna-se fundamental o planejamento de estratégias integradas para o controle da antracnose no abacate, abrangendo os períodos pré e pós-colheita, com o objetivo de prolongar a vida útil da fruta. Entre as principais medidas de controle, destaca-se a aplicação de fungicidas sintéticos, especialmente à base de cobre, utilizados desde a fase de frutificação até a colheita (Sivakumar; Tuna Gunes; Romanazzi, 2021). Adicionalmente, o uso do Prochloraz® na linha de embalagem tem demonstrado eficácia na redução da deterioração e dos sintomas causados pela antracnose (Shimshoni *et al.*, 2020).

Contudo, estes fungicidas são reconhecidos por seus impactos negativos à saúde humana e ao meio ambiente, devido à elevada concentração de resíduos que podem permanecer nas partes comestíveis das frutas, gerando toxinas alergênicas (Centurión *et al.*, 2023). Além disso, observa-se uma crescente resistência dos patógenos aos fungicidas, o que reduz a eficácia desses produtos ao longo do tempo, agravando os impactos ambientais causados pelo acúmulo e persistência dessas substâncias no ecossistema (Shimshoni *et al.*, 2020). Devido a esses fatores, e às barreiras fitossanitárias já impostas por alguns países, pesquisadores intensificam a busca por alternativas sustentáveis para o controle da antracnose, promovendo o desenvolvimento de métodos de manejo mais seguros e eficazes na produção agrícola (Correa-Pacheco *et al.*, 2022; Osondu *et al.*, 2022).

2.3 BACTÉRIAS LÁTICAS COMO BIOPRESERVANTES EM FRUTAS

A biopreservação é definida como a extensão da vida de prateleira e o aumento da segurança dos alimentos por meio da redução ou eliminação de agentes patogênicos, utilizando recursos biológicos, como microrganismos e os metabólitos que estes liberam (Yusuf, 2018). Bactérias, fungos e leveduras têm se destacado como agentes de biopreservação em frutas, representando uma alternativa eficaz e segura aos fungicidas convencionais no controle de doenças pós-colheita (Hernandez-Montiel *et al.*, 2018; Vilaplana *et al.*, 2018; Wu *et al.*, 2021).

As BAL apresentam-se como uma estratégia promissora para o desenvolvimento de agentes de biocontrole, em razão da sua elevada adaptabilidade a ambientes de crescimento, especialmente aqueles ricos em carboidratos e compostos fenólicos (Kowalska; Wrzodak, 2025). Os principais gêneros presentes nas culturas iniciais de BAL incluem *Lactobacillus* (e outros gêneros associados), *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Bifidobacterium* e *Leuconostoc* (Kowalska; Wrzodak, 2025). Além disso, essas bactérias são consideradas candidatas ideais para aplicações na indústria alimentícia, uma vez que foram classificadas como *Generally Recognized as Safe* (GRAS) pela *Food and Drug Administration* e possuem o *status* de *Qualified Presumption of Safety* (QPS) concedido pela Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (Gajendran; Rajamani, 2024; Manjarres *et al.*, 2021).

Fenotipicamente, são microrganismos Gram-positivos, catalase-negativos, não esporulados e não respiratórias, mas aerotolerantes, com morfologia variável, podendo se apresentar como cocos ou bacilos, de acordo com a espécie e as condições ambientais de crescimento (Freire *et al.*, 2021; Kowalska; Wrzodak, 2025). O isolamento de BAL pode ser realizado a partir de diversas matrizes alimentares, sendo frutas e hortaliças, inteiras ou processadas, as mais frequentemente selecionadas quando se objetiva o controle de populações microbianas fitopatogênicas. Essas matrizes fornecem um ambiente de crescimento natural ao qual as cepas estão adaptadas, o que potencializa sua ação antagonista (Rodrigues, 2021).

As BAL sintetizam diversos metabólitos, como ácidos orgânicos, dióxido de carbono, etanol, peróxido de hidrogênio, ácidos graxos, acetoína, diacetil, dipeptídeos cíclicos e bacteriocinas, que exercem ação inibitória contra microrganismos contaminantes (De Simone *et al.*, 2021; Strack *et al.*, 2020). Devido a essas características, são frequentemente incorporadas em produtos alimentícios, fermentados ou não, com o objetivo de prolongar a vida de prateleira (Carvalho; Bessa, 2022). Além de limitar o crescimento de microrganismos

indesejados, essas bactérias podem exercer funções probióticas e promover modificações nas propriedades sensoriais dos alimentos, contribuindo para a segurança e funcionalidade dos produtos (Fischer; Titge-Meyer, 2023; Maruyama *et al.*, 2021, Remize *et al.*, 2021).

Além da produção de metabólitos secundários com potencial atividade antimicrobiana sinérgica, as BAL também podem competir com microrganismos deteriorantes por nutrientes (vitaminas, minerais, oligoelementos e peptídeos) e espaço no substrato de crescimento, o que as torna agentes ainda mais promissores para o manejo pós-colheita de frutas e hortaliças (Kowalska; Szczech; Lisek, 2024). Ressalta-se que, para exercerem suas funções biológicas, as cepas podem ser aplicadas de forma isolada ou em culturas mistas, desde que continuem a apresentar capacidade protetora (Sanpa *et al.*, 2019). Fernandes *et al.* (2025) observaram a inibição do crescimento de diferentes isolados de *Colletotrichum* (agentes causadores da antracnose) quando expostos a uma cultura mista de BAL. Além disso, essa cultura demonstrou capacidade de sobrevivência e manutenção da atividade inibitória mesmo em baixas concentrações de nutrientes.

De forma complementar, os efeitos biológicos das BAL podem ser potencializados quando combinados com outras técnicas de preservação, como a incorporação das cepas em revestimentos comestíveis, que prolongam a vida de prateleira de frutas e hortaliças frescas, além de manterem altas contagens de células viáveis (Agriopoulou *et al.*, 2020; Fernandes *et al.*, 2025). Nesse sentido, Speranza *et al.* (2018) desenvolveram um revestimento à base de alginato e quitosana, incorporado com *Lactiplantibacillus plantarum*, para aplicação em maçã e melão minimamente processados. Os resultados demonstraram maior aceitabilidade das frutas ao longo do armazenamento e preservação da viabilidade da bactéria no revestimento com alginato. Em contraste, o revestimento com quitosana promoveu uma redução na viabilidade, evidenciando que a matriz utilizada para o revestimento tem o potencial de afetar a estabilidade probiótica (Speranza *et al.*, 2018).

2.4 CACTÁCEAS COMO FONTES DE BIOPOLÍMEROS NATURAIS

As cactáceas, pertencentes à família botânica Cactaceae, apresentam elevada variabilidade genética e considerável diversidade morfológica, caracterizadas por caules espessos e ricos em parênquima, variados portes, modificações no brotamento, ausência de folhas e produção de frutos comestíveis (Gordiano *et al.*, 2022). No contexto regional do semiárido nordestino, essas espécies desempenham papel fundamental na economia das

comunidades locais e na segurança alimentar, sendo utilizadas para alimentação humana, alimentação animal e comércio regional (Gonçalves *et al.*, 2021).

Caracterizam-se como plantas xeromórficas, altamente adaptadas a climas secos e áridos, sendo comumente cultivadas na América Central e do Sul, Ásia e sul da Europa (Christopoulos *et al.*, 2022). Essas plantas possuem elevada capacidade de armazenamento de mucilagem, um polissacarídeo pertencente ao grupo dos hidrocolóides, que se apresenta em forma de gel na presença de água (Bernardino-Nicanor *et al.*, 2018; de Andrade *et al.*, 2021). Dentre as espécies de cactáceas, os gêneros *Opuntia* e *Nopalea* se destacam por possuírem elevada concentração de mucilagem, sendo considerados as principais fontes deste composto (Olicón-Hernández *et al.*, 2019; Morais *et al.*, 2019).

Como adaptação às condições semiáridas, as cactáceas realizam a fotossíntese por meio do metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), que possibilita uma utilização eficiente da água disponível, promovendo um crescimento mais lento da planta, porém mantendo seu valor nutricional (Zhao; Tong, 2023). A composição química dos cladódios dos cactos varia conforme a estação do ano, método de cultivo, idade da planta, cultivar, manejo na colheita e fatores ambientais específicos (Pessoa *et al.*, 2020). De forma geral, apresentam baixa concentração de matéria seca, variando entre 5% e 15%, e baixos teores proteicos. No entanto, são ricos em carboidratos e minerais, como cálcio, magnésio, potássio, além de fibras insolúveis (Inácio *et al.*, 2020; Martins *et al.*, 2022).

2.4.1 Palma e Facheiro

As cactáceas mais comumente utilizadas na alimentação animal e no comércio regional incluem a palma-forrageira cv. Mão de Moça (*Nopalea cochenillifera*) e o facheiro (*Pilosocereus pachycladus*). A cultivar Mão de Moça é amplamente adaptada às condições de clima árido, não possui espinhos e apresenta resistência à cochonilha-do-carmim, praga que frequentemente compromete esses cultivos (Jardim *et al.*, 2021). Essa espécie também é caracterizada por sua ramificação densa, cladódios delgados de coloração verde-clara (Figura 1 e 2) e sistema radicular que se desenvolve lateralmente, com capacidade de aprofundamento em situações de *déficit* hídrico (Siqueira, 2018). Suas flores possuem coloração avermelhada e mantêm a corola fechada durante a fase reprodutiva, enquanto os frutos apresentam coloração arroxeada, sendo carnosos e ricos em sementes (Vasconcelos *et al.*, 2009).

Figura 1 – Arbusto cactáceo da palma mão de moça (*Nopalea cochenillifera*).



Fonte: Autoria Própria, 2025.

Figura 2 – Estrutura do cladódio da palma mão de moça (*Nopalea cochenillifera*).



Fonte: Autoria Própria, 2025.

O facheiro (*Pilosocereus pachycladus*) é uma espécie endêmica do semiárido nordestino, caracterizada por ser uma planta perene, de ciclo de vida longo, com hábito

arbustivo e porte elevado. Sua morfologia é predominantemente colunar, com poucas ramificações. O caule principal é ereto, de coloração verde-escura, apresentando ramificações laterais e sendo recoberto por espinhos rígidos, finos e aciculares (Figura 3 e 4). Em relação à floração, a planta exibe flores solitárias, com pétalas brancas e formato tubular, alargadas na extremidade (Barbosa *et al.*, 2023). O fruto é caracterizado como polispérmico, com cor avermelhada intensa, numerosas sementes e polpa carnuda, que tende a escurecer após o corte do tecido (Rodrigues *et al.*, 2019).

Figura 3 – Arbusto cactáceo colunar do facheiro (*Pilosocereus pachycladus*).



Fonte: Autoria Própria, 2025.

Figura 4 – Estrutura do cladódio do facheiro (*Pilosocereus pachycladus*).

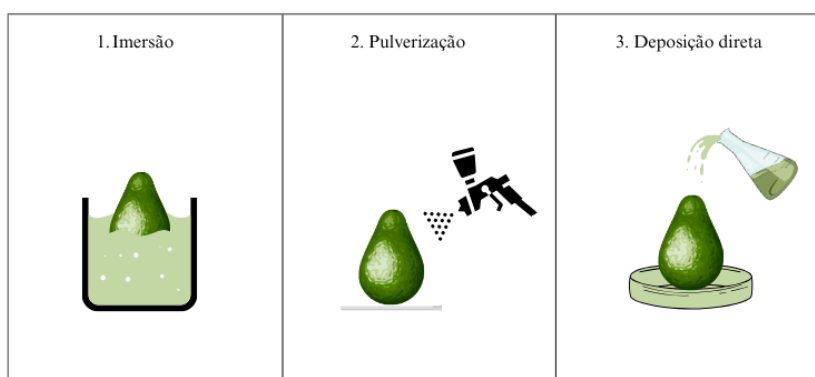


Fonte: Autoria Própria, 2025.

2.5 REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS EM FRUTAS

Como alternativa para a manutenção das características de qualidade de frutas *in natura* ou minimamente processados, os revestimentos comestíveis, desenvolvidos a partir de compostos bioativos e biodegradáveis, atuam no retardamento do amadurecimento e promovem a liberação de agentes antimicrobianos e antioxidantes naturais, os quais contribuem para uma maior segurança ao consumidor (Nunes *et al.*, 2023; Zhao, 2019). A aplicação desses revestimentos pode ocorrer por imersão, pulverização ou deposição direta da solução em camadas sobre a superfície do vegetal (Figura 5) (Braga *et al.*, 2019; Alves *et al.*, 2022).

Figura 5 – Métodos de aplicação de revestimentos em superfícies de frutas.



Fonte: Autoria Própria, 2025.

Esses revestimentos funcionam como uma barreira protetora, contribuindo para a redução da degradação das frutas ao controlar as trocas gasosas e a perda de umidade com o ambiente (Vipan *et al.*, 2018). Esse mecanismo também auxilia na inibição da propagação de microrganismos, incluindo fungos, e na prevenção de alterações visuais, como o escurecimento, além de reduzir a propensão a danos mecânicos e retardar processos de senescência (Santos *et al.*, 2018). A incorporação de agentes antimicrobianos pode ainda potencializar a eficácia dos revestimentos, promovendo uma redução significativa na proliferação de patógenos (Kumar; Tyagi, 2025). Adicionalmente, a aplicação destes revestimentos pode conferir um aspecto visual atrativo, como brilho superficial, especialmente em frutas, consolidando-se como uma tecnologia promissora para a conservação pós-colheita (Sousa *et al.*, 2021; Nor; Ding, 2020).

Os materiais utilizados na formulação de revestimentos têm origem natural, livres de compostos tóxicos, alergênicos e não digeríveis. Esses materiais se destacam por sua estrutura complexa e multifuncionalidade, além de contribuírem para a manutenção de um ambiente microbiano equilibrado no produto (Nunes *et al.*, 2023; Shinga; Fawole, 2023). A seleção adequada da matéria-prima é crucial para garantir um bom desempenho na formulação, variando conforme os objetivos desejados. Entre os componentes mais utilizados estão as proteínas, como caseína, gelatina, colágeno e proteína de soja; os polissacarídeos, como quitosana, celulose, pectina, amidos, dextrina e mucilagem; e os lipídios, incluindo óleos essenciais, gorduras, ceras e ácidos graxos (Hassan *et al.*, 2018; Sousa *et al.*, 2021).

Dentre os biopolímeros utilizados, os polissacarídeos e as proteínas destacam-se como as matrizes mais exploradas no desenvolvimento de revestimentos, em razão de sua ampla disponibilidade, compatibilidade com sistemas alimentares e menor custo, especialmente quando comparadas a materiais sintéticos e a outras formas de conservação (He *et al.*, 2024). A escolha do polímero é diretamente influenciada pelas condições de processamento, podendo exigir ajustes no pH e/ou elevação da temperatura para garantir a solubilização da matriz e uma aplicação eficiente sobre o alimento (Farhan *et al.*, 2025). Além disso, para melhorar propriedades mecânicas como elasticidade e flexibilidade, é comum a adição de agentes plastificantes, como glicerol, sorbitol e sacarose, os quais também contribuem para uma melhor adesão à superfície do produto (Jahangiri; Mohanty; Misra, 2024).

2.5.1 Revestimentos elaborados com mucilagem de cactáceas

A mucilagem extraída de cactáceas tem se destacado como uma alternativa promissora de matéria-prima para a formulação de revestimentos e filmes comestíveis, devido à sua eficácia na extensão da vida de prateleira e na preservação da qualidade pós-colheita de frutas (Abera; Kebede; Wassu, 2019; Sortino *et al.*, 2024). Esse potencial está associado à sua composição, predominantemente formada por carboidratos, os quais conferem propriedades desejáveis como resistência à umidade, solubilidade em água, capacidade de gelificação, além de características térmicas e mecânicas adequadas para aplicação em sistemas alimentares (Todhanakasem *et al.*, 2022).

Mucilagem de cactáceas é classificada como um polissacarídeo complexo, de alto peso molecular, contendo diversos açúcares neutros em proporções variáveis, como D-galactose, D-xilose, L-ramnose, L-arabinose e ácido glucurônico, além de fibras solúveis, minerais e fitoquímicos bioativos, o que amplia suas possibilidades de aplicação (Quintero-Garcia *et al.*, 2021; Messina *et al.*, 2021). Essa composição confere à mucilagem propriedades funcionais importantes, incluindo a capacidade de modificar a textura dos alimentos, atuando como agente emulsificante, espessante, estabilizante e com potencial para encapsulação de compostos bioativos (Sáenz *et al.*, 2020).

As espécies do gênero *Opuntia* são consideradas fontes potenciais de mucilagem, devido à sua abundância, biodegradabilidade e capacidade de renovação. Entretanto, outras espécies vêm sendo investigadas em estudos científicos e exploradas comercialmente, tais como *Nopalea cochenillifera* (palma forrageira), *Hylocereus undatus* (pitaya branca) e *Hylocereus polyrhizus* (pitaya vermelha) (De Medeiros *et al.*, 2024). De modo geral, essas plantas são valorizadas pela elevada concentração de nutrientes e compostos bioativos, incluindo betalainas, fitoesteróis, polifenóis, vitaminas e minerais, que ao serem incorporados em revestimentos comestíveis, conferem propriedades funcionais adicionais, como atividade antifúngica e antimicrobiana (Da Costa *et al.*, 2024).

A combinação da mucilagem com outros polímeros, como quitosana, gelatina e amido, também constitui uma estratégia eficaz para a melhoria das propriedades dos revestimentos (Biswak *et al.*, 2024). Essa integração permite superar as limitações inerentes a cada polímero, quando aplicado isoladamente, potencializando suas características ao equilibrar as propriedades hidrofílicas e hidrofóbicas dos materiais (Huang *et al.*, 2023). Além disso, a incorporação conjunta desses compostos, otimiza as propriedades mecânicas,

resultando em revestimentos com maior resistência e desempenho funcional (Huang *et al.*, 2023).

Revestimentos à base de mucilagem têm demonstrado potencial para reduzir o crescimento microbiano, principalmente por atuarem na modificação da atmosfera ao redor do alimento, o que também favorece a incorporação de compostos antimicrobianos e antioxidantes naturais (Mukwevho; Kaseke; Fawole, 2024). Essa característica os torna mais eficazes do que os revestimentos simples, uma vez que promovem melhor dispersão e difusão dos ativos, além de apresentarem maior solubilidade e uniformidade de aplicação (Mukwevho; Kaseke; Fawole, 2024; Vieira *et al.*, 2021).

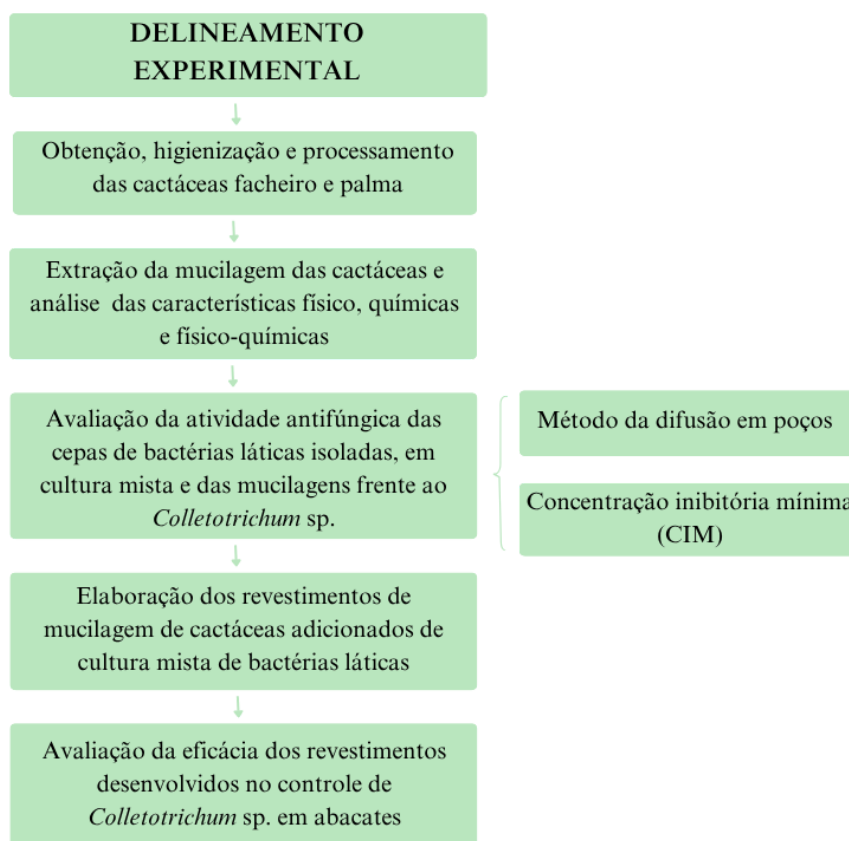
Além disso, essas matrizes têm sido exploradas como veículos para a entrega controlada de culturas probióticas, ampliando o valor funcional dos alimentos. Um exemplo é o estudo desenvolvido por Todhanakasem *et al.* (2022), no qual foi formulado um filme comestível à base de mucilagem de *Opuntia ficus-indica*, incorporado com a cepa probiótica *Enterococcus faecium*, aplicado ao revestimento de maçãs minimamente processadas. Os resultados indicaram redução da perda de qualidade, preservação da textura e aparência das frutas, além da adição de valor funcional ao produto (Todhanakasem *et al.*, 2022).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O presente estudo caracterizou-se como analítico-experimental, de abordagem quantitativa, com ênfase na análise da atividade antifúngica da mucilagem extraída de cactáceas, adicionadas ou não a culturas mistas de BAL, visando ao controle da antracnose no abacate, causada por fungos do gênero *Colletotrichum* sp. A Figura 6 apresenta o delineamento experimental do estudo, contemplando as etapas de extração e caracterização da mucilagem, avaliação da atividade antifúngica *in vitro*, preparo dos revestimentos e aplicação dos tratamentos nas frutas.

Figura 6 – Etapas do delineamento experimental do estudo.



Fonte: Autoria Própria, 2025.

3.2 LOCAL DE EXECUÇÃO DA PESQUISA

As análises foram conduzidas no Laboratório de Microbiologia e Bioquímica dos Alimentos (LMBA) e no Laboratório de Bromatologia, ambos lotados no Departamento de Nutrição (DN) do Centro de Ciências da Saúde (CCS), Universidade Federal da Paraíba (UFPB - Campus I), o qual dispõem de todas as condições necessárias para o desenvolvimento dos experimentos.

3.3 OBTENÇÃO E PROCESSAMENTO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

Cladódios de facheiro e palma foram obtidos de plantações de cultivo privado regional (Picuti, PB, Nordeste do Brasil; 06°53'31"S 36°25'48"W), com padronização quanto ao comprimento, peso e integridade física. Os materiais foram transportados em caixas de poliestireno sob temperatura fria (10 ± 1 °C) até o LMBA. Os cladódios foram inicialmente submetidos a uma etapa de higienização preliminar em água corrente, visando à remoção de sujidades aderidas à superfície. Na sequência, foi realizada a sanitização por imersão em solução clorada contendo hipoclorito de sódio a uma concentração de 100 ppm, durante 15 minutos. Finalizada essa etapa, realizou-se o enxágue com água potável corrente, a fim de eliminar os resíduos do agente sanitizante (Pinheiro *et al.*, 2024).

Abacates cultivar Margarida, em estado de maturação comercial, com °Brix ≥ 10 (Oliveira, 2019), foram adquiridos na EMPASA (Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas, João Pessoa, Paraíba, Brasil) e transportados para o LMBA em caixas de polipropileno sob temperatura controlada (10 ± 1 °C). As frutas selecionadas foram avaliadas para garantir que estivessem livres de lesões físicas e sinais visíveis de infecção, sendo escolhidas e padronizadas de acordo com tamanho, aparência, cor e forma. Todas as frutas foram inicialmente lavadas, seguidas de sanitização por imersão em solução de hipoclorito de sódio a 100 ppm por 15 minutos, com posterior enxágue em água destilada estéril.

3.4 MICRORGANISMOS TESTES E CONDIÇÕES DE CRESCIMENTO

Foram testadas seis cepas de BAL, previamente isoladas de subprodutos do processamento de polpas de frutas e caracterizadas por apresentarem propriedades probióticas, destacando-se a atividade antifúngica contra fungos fitopatogênicos, a saber: *Levilactobacillus brevis* 59; *Lactiplantibacillus pentosus* 129; *Lacticaseibacillus paracasei*

108; *Lactiplantibacillus plantarum* 49; *Limosilactobacillus fermentum* 263 (Garcia *et al.*, 2016; Albuquerque *et al.*, 2018; Fernandes *et al.*, 2023).

As culturas em estoque foram armazenadas a -20 ± 1 °C em caldo de Man, Rogosa and Sharpe (MRS) contendo glicerol (20 mL/100 mL). As culturas de trabalho foram mantidas aerobicamente em ágar MRS a 4 ± 1 °C e transferidas periodicamente para um novo meio de cultura. Antes do uso nos ensaios, cada isolado foi cultivado anaerobicamente em caldo MRS a 37 ± 1 °C por 20 a 24 h (até alcançar fase de crescimento estacionária). A cultura celular mista foi preparada pela combinação das suspensões de cada cepa selecionada com base nos resultados dos ensaios *in vitro* (proporção 1:1:1). Para isso, as células foram coletadas por centrifugação ($4.500 \times g$, 10 min, 4 °C), lavadas e ressuspensas, de modo a obter uma suspensão com contagens viáveis entre 9–10 log UFC/mL, quando semeadas em ágar MRS (Freire *et al.*, 2021).

Diferentes isolados de *Colletotrichum* sp., pertencentes à espécie *C. siamense* procedentes da Coleção de fungos do Laboratório de Micologia (Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brasil) foram utilizados como microrganismos-alvo. Os isolados em estoque foram mantidos em discos de 5 mm de Ágar Batata Dextrose – ABD (HiMedia, Índia) em microtubos contendo 1,5 mL de água destilada esterilizada a 5 ± 1 °C no escuro. Para os ensaios de atividade antifúngica, foram utilizadas as culturas em estoque cultivadas em ABD durante sete dias a 25 ± 1 °C (De Souza *et al.*, 2023).

3.5 EXTRAÇÃO DA MUCILAGEM DAS CACTÁCEAS

A epiderme dos cladódios (parte externa) foi removida manualmente, e o parênquima (parte interna) foi seccionado e homogeneizado em processador de alimentos (Philips Walita, modelo RI7775, Brasil) por 60 segundos, utilizando etanol 99,5% na proporção de 2:3 (m/v), correspondendo a duas partes do parênquima para três partes de solvente. A mistura obtida foi mantida a 40 ± 1 °C por 90 minutos, sendo posteriormente submetida à centrifugação a 4.000 rpm, por 20 minutos, a 25 °C (MPW Med. Instrumentos, modelo MPW-351R, 230 V, 60 hz) (Gheribi *et al.*, 2018).

A mucilagem precipitada foi obtida mediante a separação do sobrenadante alcoólico por pipetagem, seguida de etapa de lavagem com etanol a 99,5% (v/v), visando à eliminação de pigmentos residuais. O precipitado foi submetido à secagem em estufa com circulação de ar forçado a 55 ± 1 °C por 24 horas. Após o processo de secagem, o resíduo sólido foi triturado em processador de alimentos (Mixer Arno Turbomix, modelo MX31, 110V, 400W) e

submetido a tamisação em peneira de 30 mesh, visando à obtenção do pó de mucilagem (Gheribi *et al.*, 2018). Para os ensaios de avaliação da atividade antifúngica, a mucilagem em pó foi reidratada com água destilada nas concentrações de 2%, 3% e 4% (m/v), com base na metodologia adaptada de Gheribi *et al.* (2018).

3.6 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DO PÓ DAS MUCILAGENS DE FACHEIRO E PALMA

As mucilagens em pó obtidas após o processo de extração, tanto da palma quanto do facheiro, foram avaliadas em relação a pH, cor, atividade de água, umidade, teor de cinzas, teor de ácido ascórbico, teor de fenólicos totais, densidade aparente, solubilidade, higroscopicidade e capacidade antioxidante pelas metodologias de DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil), FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) e ABTS (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico).

A atividade de água foi determinada sob temperatura de 25 ± 1 °C utilizando-se equipamento AquaLab® (Modelo 4TEV, Meter®, São José dos Campos, SP, Brasil) por meio da disposição de pó da mucilagem (média de 1 g) até preencher o suporte de leitura do equipamento (AOAC, 2016; Método 978.18). A umidade e teor de cinzas foram determinados por meio de incineração de 5 g da amostra em mufla a 550°C até alcançar peso constante (AOAC, 2019; método 925.10 e método 940.26, respectivamente).

Os valores de pH foram determinados a partir do pó da mucilagem (1 g) homogenizado com 10 mL de água destilada, utilizando potenciômetro com eletrodo de vidro combinado calibrado com solução tampão com pH 7 e 4 (AOAC, 2016; Método 981,12).

O conteúdo de ácido ascórbico foi determinado pelo método de titulação de neutralização com solução de 2,6-diclorofenol indofenol (Oliveira *et al.*, 2018). Para isso, 10 g da mucilagem foram homogeneizadas e diluídas em ácido oxálico 0,5%. Uma alíquota de 10 mL foi removida da solução final para titulação com 2,6-diclorofenol indofenol até aparecimento de tonalidade rosa claro. O teor de ácido ascórbico foi determinado pela equação 2, no qual V é o volume da solução de 2,6-diclorofenol indofenol gasto na titulação; F é o fator da solução de 2,6-diclorofenol indofenol e A é a quantidade em mL da amostra utilizada. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g de amostra (IAL, 2008).

$$\text{Ácido ascórbico (mg/100g)} = \frac{V \times f}{A} \times 100 \quad (1)$$

A cor dos pós das mucilagens de cactáceas foi avaliada pelo sistema CIELab: L* (0: escuro, 100: branco), a* (valor negativo: verde, valor positivo: vermelho) e b* (valor negativo: azul, valor positivo: amarelo), croma, °Hue e índice de brancura (WI) pela equação 1, de acordo com a Comissão Internacional de Iluminação (CIE, 1986).

$$WI = 0.511 L - 2.324 a - 1.100 b \quad (2)$$

O conteúdo de fenólicos totais foi analisado utilizando o método de Folin-Ciocalteu. Os resultados foram expressos em mg equivalentes de ácido gálico (EAG) por 100 gramas de amostra (mg EAG/100 g) (Liu *et al.*, 2002).

A densidade aparente foi determinada pela transferência de 2 g da amostra em pó para uma proveta graduada de 50 mL, procedendo-se ao cálculo da razão entre a massa do material e o volume por ele ocupado no recipiente graduado (Goula; Adamopoulos, 2010).

A determinação da solubilidade foi realizada pesando-se 1 g da amostra, em base seca, a qual foi diluída em 100 mL de água destilada e homogeneizada por 5 minutos. A suspensão obtida foi transferida para tubos Falcon de 50 mL e submetida à centrifugação a 3.000 rpm por 5 minutos. Em seguida, 25 mL do sobrenadante foram transferidos para placas de Petri e submetidos à secagem em estufa a 105 °C por 24 horas. A solubilidade (%) foi calculada pela relação entre a massa de sólidos presentes no sobrenadante e a massa total da amostra, de acordo com Cano-Chauca *et al.* (2005), conforme a equação 3:

$$Solubilidade = \frac{MS}{MT} \times 100 \quad (3)$$

em que MS corresponde à massa de sólidos no sobrenadante e MT à massa total da amostra. Os resultados foram expressos como percentual de solubilidade do material.

A higroscopicidade foi determinada a partir da metodologia descrita por Cai; Corke (2000), com adaptações. Aproximadamente 1 g de amostra foi pesada em placas de Petri e acondicionada em dessecador contendo solução saturada de NaCl, que mantém umidade relativa aproximada de 75,29% a 25 ± 1 °C. As placas foram mantidas em câmara do tipo BOD, sob temperatura controlada de 25 ± 1 °C, durante 7 dias, com pesagens diárias até a estabilização do peso, indicando o equilíbrio higroscópico. Os resultados foram expressos em gramas de água absorvida por 100 g de amostra seca.

A capacidade antioxidante foi determinada a partir dos métodos de DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil), FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) e ABTS (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico). Para a extração, 2 g da amostra foram homogeneizados com 10 mL de metanol a 80%, mantidos em repouso por 24 h à temperatura ambiente e filtrados (filtro de 125 mm). No método DPPH, 50 µL do extrato foram

adicionados a 250 µL da solução de DPPH em metanol, com posterior agitação e incubação no escuro por 30 min. A absorbância foi medida a 517 nm, utilizando água como controle e solução extratora como branco. A capacidade antioxidante foi calculada por curva padrão de Trolox (10–2000 µM) e expressa em µmol equivalentes de Trolox por grama de amostra (µmol/g), aplicando-se a fórmula 4 (Rufino *et al.*, 2007).

$$DPPH (\%) = \frac{ABS_{controle} - ABS_{amostra}}{ABS_{controle}} \times 100 \quad (4)$$

Para ABTS, 50 µL do extrato da amostra foram misturados a 250 µL da solução de ABTS, incubados no escuro por 6 min, e a absorbância foi medida a 734 nm. Água foi utilizada como controle e a solução extratora como branco. A capacidade antioxidante foi calculada a partir de curva padrão de Trolox (10–2000 µM) e expressa em µmol equivalentes de Trolox por grama de amostra (µmol/g), utilizando a fórmula 5 (Rufino *et al.*, 2007).

$$ABTS (\%) = \frac{ABS_{controle} - ABS_{amostra}}{ABS_{controle}} \times 100 \quad (5)$$

Para o FRAP, 20 µL do extrato foram adicionados a 30 µL de água destilada e 250 µL do reagente FRAP, sendo a mistura incubada por 30 min a 37 ± 1 °C. A absorbância foi medida a 595 nm, utilizando como branco o próprio reagente FRAP. A curva padrão foi construída com soluções de sulfato ferroso (50–2000 µM), e os resultados foram expressos em µmol equivalentes de sulfato ferroso por grama de amostra (µmol FeSO₄/g) (Rufino *et al.*, 2006).

3.7 AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIFÚNGICA DE CEPAS DE BAL E MUCILAGENS DE CACTÁCEAS FRENTE A *C. siamense in vitro*.

3.7.1 Método difusão em poços

No ensaio de difusão em poço, as avaliações foram conduzidas utilizando cepas de BAL na concentração de 9–10 log UFC/mL em condições isoladas, bem como em cultura mista composta por três cepas previamente selecionadas (em proporção 1:1:1). No geral, 100 µL dos tratamentos foram aplicados em poços de 6 mm de diâmetro, perfurados em placas de ABD + MRS com espaçamento de 2 cm em relação ao ponto central. Com o objetivo de favorecer a difusão no meio, as placas contendo BAL foram pré-incubadas por aproximadamente 18 horas, a 37 ± 1 °C, sob condições de anaerobiose. Como controle negativo, foi utilizado caldo MRS ou água destilada (Kharazian *et al.*, 2017).

Posteriormente, discos de ágar (5 mm de diâmetro) contendo estruturas ativas de isolados de *C. siamense*, obtidos a partir das margens de colônias com sete dias de cultivo em meio ABD a 25 ± 1 °C, foram transferidos para o centro das placas e incubados em condições de aerobiose (25 ± 1 °C), por cinco dias (Canpolat *et al.*, 2018). A porcentagem de inibição do crescimento micelial (ICM%) foi determinada com base na equação (Allagui; Bem, 2024),

$$ICM (\%) = \frac{CT - TT}{CT} \times 100 \quad (6)$$

onde, CT é o crescimento total de fungos no ensaio de controle e TT é o crescimento total de fungos no ensaio com os tratamentos.

3.7.2 Determinação da Concentração Inibitória Mínima (CIM)

Com o objetivo de avaliar o potencial antifúngico em diferentes concentrações, as mucilagens de cactáceas foram incorporadas ao meio ABD, previamente ajustado para pH 5,6 com solução de NaOH a 30% (v/v), nas concentrações de 2%, 3% e 4% mg/mL. Em seguida, discos de ágar (5 mm de diâmetro) contendo estruturas ativas dos isolados de *C. siamense*, foram transferidos para o centro de cada placa de Petri. Placas contendo apenas ABD, sem a adição de mucilagem, foram utilizadas como controle, conforme descrito por Gomes *et al.* (2020). As placas foram incubadas a 25 ± 1 °C em aerobiose, com monitoramento a cada 24 horas até o micélio do controle alcançar as bordas da placa. O ICM% foi determinado de acordo com a equação (Allagui; Ben, 2024). A CIM foi considerada como a menor concentração das mucilagens, dentre as concentrações avaliadas, que mais reduziu o crescimento micelial.

3.8 ELABORAÇÃO DOS REVESTIMENTOS FORMULADOS COM MUCILAGEM DE CACTÁCEAS ADICIONADOS DE BACTÉRIAS LÁTICAS

A elaboração dos revestimentos foi realizada conforme a metodologia descrita por Mukwevho; Kaseke; Fawole (2024), com adaptações. A mucilagem foi hidratada com água destilada estéril na proporção correspondente à CIM, esterilizada em autoclave por 15 minutos e, em seguida, foi adicionado glicerol a 40%, calculado com base na massa de mucilagem utilizada (m/m). A mistura resultante foi aquecida a 60 °C e mantida sob agitação por 10 minutos. Após o resfriamento à temperatura ambiente, a cultura mista de cepas de BAL foi ressuspensa na dispersão, de modo a atingir uma concentração celular final entre 9–10 log UFC/mL (Todhanakasem *et al.*, 2022). Como controles, foram utilizados um

revestimento formulado com mucilagem de cactácea sem a adição de BAL e água destilada estéril com glicerol (40%).

3.8.1 Avaliação dos efeitos dos revestimentos sobre o desenvolvimento e severidade de antracnose em abacate

A epiderme de cada fruto foi lesionada na região central de um mesmo lado, realizando-se cinco perfurações por unidade, utilizando agulha esterilizada com profundidade de 3 mm e diâmetro de 2 mm. Em seguida, cada fruta foi imersa em 400 mL da dispersão formadora do revestimento de mucilagem adicionado com a cultura mista de cepas de BAL, por 2 minutos. Após a secagem à temperatura ambiente por 4 horas, discos de ágar (5 mm de diâmetro) contendo estruturas ativas dos isolados de *C. siamense*, obtidas a partir da margem de colônias cultivadas em ABD por sete dias a 25 ± 1 °C, foram inoculados nos pontos de punção (Braga *et al.*, 2019).

A redução do diâmetro da lesão de antracnose (%RDLA) foi calculada comparando-se o diâmetro médio da lesão nos frutos revestidos com mucilagem adicionada de cultura mista de BAL e nos frutos não tratados (controle negativo com água destilada), empregando a equação 7, em que N representa o diâmetro da lesão de antracnose nos frutos controle e F o diâmetro da lesão nos frutos tratados (Braga *et al.*, 2019).

$$RDLA (\%) = \frac{N - F}{N} \times 100 \quad (7)$$

3.9 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As análises de caracterização das mucilagens de cactáceas, bem como dos efeitos antifúngicos *in vitro* e *in situ* (em abacates), foram realizadas em triplicata, em três experimentos independentes. Todos os resultados foram expressos como médias dos valores obtidos em cada repetição. A avaliação estatística foi realizada por meio de estatística descritiva (média $\pm$ desvio-padrão) e inferencial, empregando análise de variância (ANOVA), seguida dos testes de Tukey ou Student, para a determinação de diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos. Para o processamento e análise dos dados, utilizou-se o *software* SigmaStat 3.5 (Jandel Scientific Software, San Jose, Califórnia, EUA).

REFERÊNCIAS

- ABERA, N., KEBEDE, W., WASSU, M. Effect of Aloe gel and cactus mucilage coating on chemical quality and sensory attributes of mango (*Mangifera indica* L.). **Journal of Postharvest Technology**, [s.l.], v. 7, [s.n], p. 31–43, 2019.
- AGRIOPOULOU, S., STAMATELOPOULOU, E.; VARZAKAS, T. Advances in occurrence, importance, and mycotoxin control strategies: Prevention and detoxification in foods. **Foods**, [s.l.], v. 9, [s.n], p. 137, 2020.
- AGRIOPOULOU, S., *et al.* Lactic Acid Bacteria as Antibacterial Agents to Extend the Shelf Life of Fresh and Minimally Processed Fruits and Vegetables: Quality and Safety Aspects. **Microorganisms**, [s.l.], v. 8, n. 6, p. 952, 2020.
- ALBUQUERQUE, T., *et al.* *In Vitro* Characterization of *Lactobacillus* Strains Isolated from Fruit Processing By-Products as Potential Probiotics. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, [s.l.], v. 10, [s.n], p. 704–716, 2018.
- ALLAGUI, M., BEN, M. Effectiveness of several GRAS salts against fungal rot of fruit after harvest and assessment of the phytotoxicity of sodium metabisulfite in treated fruit. **Journal of Fungi**, [s.l.], v. 10, [s.n], p. 359, 2024.
- ÁLVAREZ, A., *et al.* Use of an exopolysaccharide-based edible coating and lactic acid bacteria with antifungal activity to preserve the postharvest quality of cherry tomato. **LWT - Food Science and Technology**, [s.l.], v. 151, [s.n], p. 112225, 2021.
- ALVES, S., *et al.* Revestimentos comestíveis à base de polissacarídeos em frutas: uma revisão narrativa. **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [s.l.], v. 6, [s.n], p. 388–402, 2022.
- AMORIM, D., *et al.* Análise da qualidade e do preço de hortaliças comercializadas no mercado varejista de Chapadinha (MA). **Revista Agrotrópica**, Ilhéus, v. 29, n. 2, p.151–156, 2017.
- ANTONIA, B., *et al.* Positive effect of *Lippia sidoides* essential oil associated with carboxymethylcellulose in the control of anthracnose in avocado. **Food Production Processing and Nutrition**, [s.l.], v. 6, [s.n], p. 39, 2024.
- AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**, 20 ed., Gaithersburg: AOAC 50 International, 2016.
- AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**, 21 ed., Washington: AOAC DC. International, 2019.
- BARBIERI, M., GERALDINI, F., BOTEON, M. Abacate. **Revista Hortifruti Brasil**, [s.l.], v. 21, n. 232, p. 8–15, 2023.
- BARBOSA, F., *et al.* Análise da estrutura e distribuição espacial de *Pilosocereus pachycladus* subsp. *pernambucoensis* em vegetação da Caatinga e de brejo de altitude. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. e66471, 2023.

BERNARDINO-NICANOR, A., *et al.* Spectroscopic and structural analyses of *Opuntia Robusta* mucilage and its potential as an edible coating. **Coatings**, [s.l.], v. 8, [s.n], p. 466, 2018.

BHORE, S., *et al.* The Avocado (*Persea americana* Mill.): A Review and Sustainability Perspectives. **Preprints**, [s.l.], v. 1, [s.n], p. 6–7, 2021.

BILJANA, S., *et al.* Co-culture of lactic acid bacteria enhances production of antimicrobial metabolites and stability of biocontrol activity. **Annals of Microbiology**, [s.l.], v. 74, [s.n], p. 55–68, 2023.

BISWAK, A., *et al.* Process Optimization, Fabrication, and Characterization of a Starch-Based Biodegradable Film Derived from an Underutilized Crop. **Food Science and Technology**, [s.l.], v. 8, [s.n], p. 1844–1863, 2024.

BORDOH, P., *et al.* A review on the management of postharvest anthracnose in dragon fruits caused by *Colletotrichum* spp. **Crop Protection**, [s.l.], v. 130, [s.n], p. 105067, 2020.

BRAGA, S., *et al.* Application of coatings formed by chitosan and *Mentha* essential oils to control anthracnose caused by *Colletotrichum gloesporioides* and *C. brevisporum* in papaya (*Carica papaya* L.) fruit. Guildford: **International Journal of Biological Macromolecules**, [s.l.], v. 139, [s.n], p. 631–639, 2019.

BUSTAMANTE, M., *et al.* First Record of *Colletotrichum anthrisci* Causing Anthracnose on Avocado Fruits in Chile. **Pathogens**, [s.l.], v. 11, n. 10, p. 1204, 2022.

CAI, Y., CORKE, H. Production and Properties of Spray-Dried *Maranthusbetacyanin* Pigments. **Journal of Food Science**, [s.l.], v. 65, [s.n], p. 1248–1252, 2000.

CANPOLAT, E., *et al.* Antifungal Activity of Some Lactic Acid Bacteria Against Several Soil-borne Fungal Pathogens Isolated from Strawberry Plants. **Turkish Journal of Agriculture**, [s.l.], v. 6, [s.n], p. 1163–1167, 2018.

CANO-CHAUCA, M., *et al.* Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [s.l.], v. 6, n. 4, p.420–428, 2005.

CENTURIÓN, M., *et al.* Regulação de resíduos de agrotóxicos em alimentos no MERCOSUL: discussão necessária para vigilância sanitária. **Revista Panamericana de Salud Pública**, Washington, v. 47, [s.n], p. 1, 2023.

CAKMAK, H., *et al.* A review on recent advances of plant mucilages and their applications in food industry: Extraction, functional properties and health benefits. **Food Hydrocolloids for Health**, [s.l.], v. 3, [s.n], p. 100131, 2023.

COMISSÃO INTERNACIONAL DE L'ECLAIRAGE (CIE). **Colorimetria**. 2 ed., n. 15. Commission Internationale de l'Eclairage, Viena, 1986.

CARVALHO, C., BESSA, M. **As bactérias ácido láticas no contexto da biotecnologia.** Milkpoint, 2022. Disponível em: www.milkpoint.com.br/colunas/ilctepamig/as-bacterias-acido-laticas-no-contexto-da-biotecnologia-228500/ Acesso em: 27 de jun. 2025.

CHEVALIER, E., *et al.* Casein/wax blend extrusion for production of edible films as carriers of potassium sorbate—A comparative study of waxes and potassium sorbate effect. **Food Packaging and Shelf Life**, [s.l.], v. 16, [s.n], p. 41–50, 2018.

CHRISTOPOULOS, M., *et al.* Edible Coatings from *Opuntia ficus-indica* Cladodes Alongside Chitosan on Quality and Antioxidants in Cherries during Storage. **Foods**, [s.l.], v. 11, [s.n], p. 699, 2022.

CORREA-PACHECO, Z., *et al.* Anthracnose disease control and postharvest quality of hass avocado stored in biobased PLA/PBAT/pine essential oil/chitosan active packaging nets. **Plants**, [s.l.], v. 11, n. 17, p. 2278, 2022.

DA COSTA, P., *et al.* Forage-cactus based edible coating, packaging, and refrigeration improve the visual and nutraceutical qualities of sweet potatoes. **Scientia horticulturae**, [s.l.], v. 332, [s.n], p. 113205, 2024.

DE ANDRADE, E., *et al.* Mucilages of cacti from Brazilian biodiversity: Extraction, physicochemical and technological properties. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 346, [s.n], p. 128892, 2021.

DE MEDEIROS, V., *et al.* Development and Application of Mucilage and Bioactive Compounds from Cactaceae to Formulate Novel and Sustainable Edible Films and Coatings to Preserve Fruits and Vegetables—A Review. **Foods**, [s.l.], v. 13, n. 22, p. 3613, 2024.

DE SIMONE, N., *et al.* Screening of Lactic Acid Bacteria for the Bio-Control of *Botrytis cinerea* and the Potential of *Lactiplantibacillus plantarum* for Eco-Friendly Preservation of Fresh-Cut Kiwifruit. **Microorganisms**, [s.l.], v. 9, [s.n], p. 773, 2021.

DE SOUZA, A., *et al.* Influence of harvest time on the chemical profile of *Pereskia aculeate* mill. Using paper spray mass spectrometry. **Molecules**, [s.l.], v. 27, n. 13, p. 4276, 2022.

DE SOUZA, L., *et al.* Avaliação da atividade antifúngica in vitro da curcumina associada a terapia fotodinâmica sobre espécies do Complexo *Fusarium solani* e *Fusarium oxysporum*. **Research, Society and Development**, [s.l.], v. 12, n. 9, p. e11112943203-e11112943203, 2023.

DICK, M., *et al.* Valorização de cladódios de *Opuntia monacantha* (Willd.) Haw. para obtenção de uma mucilagem com características hidrocolóides: Desempenho físico-químico e funcional. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s.l.], v. 123, [s.n], p. 900–909, 2019.

DREHER, M., CHENG, F., FORD, N. A Comprehensive Review of Hass Avocado Clinical Trials, Observational Studies, and Biological Mechanisms. **Nutrients**, [s.l.], v. 13, n. 12, p. 4376, 2021.

DUARTE, P. *et al.* Avocado: Characteristics, health benefits and applications. **Rural Science**, [s.l.], v. 46, [s.n], p. 747–754, 2016.

DU TOIT, A., *et al.* Mucilage powder from cactus pears as functional ingredient: influence of cultivar and harvest month on the physicochemical and technological properties. **Journal of food science and technology**, [s.l.], v. 56, n. 5, p. 2404–2416, 2019.

EDWARDS, C., *et al.* Effects of 12-week avocado consumption on cognitive function among adults with overweight and obesity. **International Journal of Psychophysiology**, [s.l.], v. 148, [s.n], p. 13–24, 2020.

ETEFA, O., FORSIDO, S., KEBEDE, M. Postharvest loss, causes, and handling practices of fruits and vegetables in Ethiopia: Scoping review. **Journal of Horticultural Research**, [s.l.], v. 30, n. 1, p. 1–10, 2022.

FABELA-ILLESCAS, H., *et al.* Bioactive compounds identification and physicochemical characterization from *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck cladodes flour. **Biotecnia**, [s.l.], v. 24, n. 1, p. 46–54, 2022.

FADIJI, A., BABALOLA, O. Understanding the plant–microbe interactions in environments exposed to abiotic stresses: An overview. **Microbiological Research**, [s.l.], v. 257, [s.n], p. 127034, 2023.

FANG, H., *et al.* Transcriptome and Proteome Analysis of Walnut (*Juglans regia* L.) Fruit in Response to Infection by *Colletotrichum gloeosporioides*. **BMC Plant Biology**, [s.l.], v. 21, n. 249, p. 9–10, 2021.

FANTINEL, V., *et al.* Mecanismo de infecção de *Colletotrichum* spp. em flores de feijoa. **Agrarian**, [s.l.], v. 14, n. 52, p. 176–184, 2021.

FARHAN, A., *et al.* Production of polysaccharide and protein edible films: Challenges and strategies to scale-up. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 307, [S.n], p. 141909, 2025.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Global food losses**. SDG Indicators Data Portal, 2025. Disponível em: <https://www.fao.org/sustainable-development-goals-data-portal/data/indicators/1231-global-food-losses/en>. Acesso em: 17 de ago. 2025

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Major tropical fruits market review – preliminary results**, 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/3/cc3939en/cc3939en.pdf>. Acesso em: 16 de ago. 2025.

FERNANDES, K. **Aplicação de revestimentos à base de alginato de sódio incorporados de bactérias láticas para controle de antracnose em goiaba e manga**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências da Nutrição) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021.

- FERNANDES, K., *et al.* Application of Potentially Probiotic Fruit-Derived Lactic Acid Bacteria Loaded into Sodium Alginate Coatings to Control Anthracnose Development in Guava and Mango During Storage. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, [s.l.], v. 15, n. 3, p. 573–587, 2023.
- FERNANDES, K., *et al.* A novel coating formulated with sodium alginate loaded with a mixed lactic acid bacteria culture to control anthracnose in guava and mango. **Food Control**, [s.l.], v. 175, [s.n], p. 111341, 2025.
- FISCHER, I., *et al.* Ocorrência de antracnose em abacate, agressividade e sensibilidade de *Colletotrichum gloeosporioides* a fungicidas. **Agropecuária Científica no Semiárido**, [s.l.], v. 13, n. 2, p. 130–137, 2017.
- FISCHER, I., FIRMINO, A. Main diseases of avocado in brazil. Annual review of plant pathologies. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, [s.l.], v. 29, [s.n], p. 106–130, 2023.
- FISCHER, S., TITGE-MEYER, F. Protective cultures in food products: From science to market. **Foods**, [s.l.], v. 12, n. 7, p. 1541, 2023.
- FREIRE, T., *et al.* Lactic acid bacteria, their characteristics and importance: review. **Research, Society and Development**, [s.l.], v. 10, n. 11, p. e513101119964-e513101119964, 2021.
- FREITAS, C., *et al.* Revestimentos comestíveis na conservação pós-colheita de frutas climatéricas: potencialidades e desafios. **Revista Brasileira de Armazenamento**, [s.l.], v. 45, n. 1, p. 1–9, 2022.
- GAJENDRAN, V., RAJAMANI, S. Recent Advancements in Harnessing Lactic Acid Bacterial Metabolites for Fruits and Vegetables Preservation. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12602-024-10392-3>. Acesso em: 17 ago. 2025.
- GALLARDO-CAMARENA, M., *et al.* Control of avocado anthracnose by carposphere-associated *Kosakonia cowanii* VG1 for agricultural applications. **AMB Express**, [s.l.], v. 15, n. 1, p. 88, 2025.
- GARCÍA, A., *et al.* Physicochemical and functional characterization of the mucilage obtained from cladodes of two *Opuntia* species. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s.l.], v. 283, [s.n], p. 137802, 2024.
- GARCIA, E., *et al.* Identification of lactic acid bacteria in fruit pulp processing by products and potential probiotic properties of selected *Lactobacillus* strains. **Frontiers in Microbiology**, [s.l.], v. 7, [s.n], p. 1–11, 2016.
- GHERIBI, R., *et al.* Development of plasticized edible films from *Opuntia ficus-indica* mucilage: A comparative study of various polyol plasticizers. **Carbohydrate Polymers**, [s.l.], v. 190, [s.n], p. 204–211, 2018.

GOMES, A., *et al.* Coatings with chitosan and phenolic-rich extract from acerola (*Malpighia emarginata* DC) or jaboticaba (*Plinia jaboticaba* (Vell.) Berg) processing by product to control rot caused by *Lasiodiplodia* spp. in papaya (*Carica papaya* L.) fruit. **International Journal of Food Microbiology**, [s.l.] v. 331, [s.n], p. 108694, 2020.

GONÇALVES, J., *et al.* Potencialidades das cactáceas brasileiras na tecnologia de alimentos: uma revisão integrativa. **Ciência e tecnologia de alimentos: pesquisa e práticas contemporâneas**, [s.l.], v. 2, [s.n], p. 638, 2021.

GORDIANO, I. *et al.* Potential of Brazilian cacti in gastronomy: a review. **Research, Society and Development**, [s.l.], v. 11, n. 7, p. e7611729617-e7611729617, 2022.

GOULA, A., ADAMOPOULOS, K. A new technique for spray drying orange juice concentrate. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, [s.l.], v. 11, [s.n], p. 342–351, 2010.

GONZÁLEZ-GUTIÉRREZ, K., RAGAZZO-SÁNCHEZ, J., CALDERÓN-SANTOYO, M. Field and postharvest application of microencapsulated *Yamadazyma mexicana* LPa14: anthracnose control and effect on postharvest quality in avocado (*Persea americana* Mill. cv. Hass). **Pest Management Science**, [s.l.], v. 80, n. 7, p. 3459–3469, 2024.

HASHEMI, S., JAFARPOUR, D. Bioactive edible film based on Konjac glucomannan and probiotic *Lactobacillus plantarum* strains: Physicochemical properties and shelf life of fresh-cut kiwis. **Journal of Food Science**, [s.l.], v. 86, [s.n], p. 513–522, 2021.

HASSAN, B., *et al.* Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s.l.], v. 109, [s.n], p. 1095–1107, 2018.

HE, B., *et al.* Biodegradable food packaging films: Material source, mechanical and water vapor barrier properties, and improvement strategies—A comprehensive review. **Food Research International**, v. 211, [S.n], p. 116431, 2025.

HERNANDEZ-MONTIEL, L., *et al.* Mechanisms employed by *Debaryomyces hansenii* in biological control of anthracnose disease on papaya fruit. **Postharvest Biology and Technology**, [s.l.], v. 139, [s.n], p. 31–37, 2018.

HUANG, H., *et al.* Promising strategies and new opportunities for high barrier polymer packaging films. **Progress in Polymer Science**, [s.l.], v. 144, [s.n], p. 101722, 2023.

HUANG, K., *et al.* **Global Avocado Boom**. Choices Magazine, 2023. Disponível em: <https://www.choicesmagazine.org/choices-magazine/submitted-articles/global-avocado-boom> Acesso em: 26 jul. 2025.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção de abacate**, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/abacate/br>. Acesso em: 10 jul. de 2025.

INÁCIO, J., *et al.* Nutritional and performance viability of cactus *Opuntia*-based diets with different concentrate levels for Girolando lactating dairy cows. Australas: **Asian-australasian Journal Of Animal Sciences**, [s.l.], v. 33, [s.n], p. 35–43, 2020.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4 ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. Disponível em: https://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf. Acesso em: 04 ago. 2025.

JAMES-MARTIN, G., *et al.* Avocado Consumption and Cardiometabolic Health: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics**, [s.l.], v. 124, n. 2, p. 233–248, 2024.

JARDIM, A., *et al.* Genotypic differences relative photochemical activity, inorganic and organic solutes and yield performance in clones of the forage cactus under semi-arid environment. **Plant Physiology and Biochemistry**, [s.l.], v. 2021, [s.n], p. 162, 421–430, 2021.

JIN, M., *et al.* Isolation and identification of a new *Colletotrichum* species causing anthracnose of *Astragalus membranaceus*. **Crop Protection**, [s.l.], v. 143, [s.n], p. 105470, 2021.

JAHANGIRI, F., MOHANTY, A., MISRA, M. Sustainable biodegradable coatings for food packaging: challenges and opportunities. **Green Chemistry**, [s.l.], v. 26, n. 9, p. 49344974, 2024.

JULIO, F., BUENO, A. Índice de vantagens comparativas reveladas do abacate brasileiro no comércio internacional. **Revista Interface Tecnológica**, Campo Mourão, v. 19, n. 2, p. 723–733, 2022.

KHARAZIAN, Z., *et al.* Biocontrol potential of *Lactobacillus* strains isolated from corn silages against some plant pathogenic fungi. **Biological Control**, San Diego, v. 110, [s.n], p. 33–43, 2017.

KOWALSKA, B., SZCZECHE, M., LISEK, A. Inhibition of *Botrytis cinerea* and *Escherichia coli* by Lactic Acid Bacteria on Leafy Vegetables. **Agriculture**, [s.l.], v. 14, n. 8, p. 1228, 2024.

KOWALSKA, B., WRZODAK, A. Application Potential of Lactic Acid Bacteria in Horticultural Production. **Sustainability**, [s.l.], v. 17, n. 4, p. 1385, 2025.

KUMAR, L., TYAGI, P. Innovations in edible packaging films, coatings, and antimicrobial agents for applications in food industry. **Foods**, Basel, v. 14, n. 1, p. 1–24, 2025.

LIANG, N., *et al.* Antifungal cultures and metabolites of lactic acid bacteria for use in dairy fermentations. **International Journal of Food Microbiology**, v. 383, [S.n], p. 109938, 2022.

LI, H., *et al.* Acidification and antifungal compounds as dual mechanisms of lactic acid bacteria against postharvest pathogens. **International Journal of Food Microbiology**, [s.l.], v. 372, [s.n], p. 109713, 2022.

LIU, M. *et al.* Antioxidant and antiproliferative activities of raspberries. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s.l.], v. 50, [s.n], p. 2926–2930, 2002.

LIU, M. *et al.* Ethylene biosynthesis and signal transduction during ripening and softening in non-climacteric fruits: An overview. **Frontiers in Plant Science**, [s.l.], v. 15, [s.n], p. 1368692, 2024.

MANDAL, M., DOMB, A. Antimicrobial Activities of Natural Bioactive Polyphenols. **Pharmaceutics**, [s.l.], v. 16, n. 6, p. 718, 2024.

MANNAL, F., *et al.* Precipitation solvents effect on the extraction of mucilaginous polysaccharides from *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): Structural, functional and rheological properties. **Industrial Crops and Products**, [s.l.], v. 202, [s.n], p. 117072, 2023.

MANJARRES, J., *et al.* Antagonistic Activity of Lactic Acid Bacteria Against Phytopathogenic Fungi Isolated from Cherry Tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*). **Current Microbiology**, [s.l.], v. 78, [s.n], p. 1399–1408, 2021.

MARRA, A., *et al.* Avocado and Its By-Products as Natural Sources of Valuable Anti-Inflammatory and Antioxidant Bioactives for Functional Foods and Cosmetics with Health-Promoting Properties. **Applied Sciences**, Kavala, v. 14, n. 14, p. 5978, 2024.

MARUYAMA, S., *et al.* Clean label: Why this ingredient but not that one?. **Food Quality and Preference**, [s.l.], v. 87, [s.n], p. 104062, 2021.

MARTINS A., *et al.* Physical, Nutritional, and Bioactive Properties of Mandacaru Cladode Flour (*Cereus jamacaru* DC.): An Unconventional Food Plant from the Semi-Arid Brazilian Northeast. **Foods**, [s.l.], v. 11, n. 23, p. 3814, 2022.

MELO, R., *et al.* Aplicação de biofilmes com extratos naturais no controle de antracnose em abacates. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 47–56, 2024.

MESSINA, C., *et al.* Seasonal characterization of nutritional and antioxidant properties of *Opuntia ficus-indica* [(L.) Mill.] mucilage. **Food Hydrocoll**, [s.l.], v. 111, [S.n], p. 106398, 2021.

MICHELETTI, L. **Técnicas de pré-germinação e adubação na produção de mudas de abacateiro**. 2023. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2023.

MORADINEZHAD, F., RANJBAR, A. Advances in Postharvest Diseases Management of Fruits and Vegetables: A Review. **Horticulturae**, [s.l.], v. 9, n. 10, p. 1099, 2023.

MORAIS, M., *et al.* Mucilage of spineless cactus in the composition of an edible coating for minimally processed yam (*Dioscorea* spp.). **Journal of Food Measurement and Characterization**, [s.l.], v. 13, [s.n], p. 2000–2008, 2019.

MOREIRA, R., *et al.* Effects of temperature and wetness period on the monocyclic components of persimmon anthracnose. **Bragantia**, [s.l.], v. 82, [s.n], p. e20230082, 2023.

MUKWEVHO, P., KASEKE, T., FAWOLE, O. Ascorbic acid-enriched cactus mucilage coatings maintained quality attributes of roasted ‘Wichita’ pecan nuts under accelerated storage conditions. **Journal of Agriculture and Food Research**, [s.l.], v. 18, [s.n], p. 101301, 2024.

NASROLLAHZADEH, A., *et al.* Antifungal Preservation of Food by Lactic Acid Bacteria. **Foods**, [s.l.], v. 11, n. 3, p. 395, 2022.

NI, J., *et al.* Post-harvest ripening affects drying behavior, antioxidant capacity and flavor release of peach via alteration of cell wall polysaccharides content and nanostructures, water distribution and status. **Food Research International**, [s.l.], v. 170, [s.n], p. 113037, 2023.

NOR, S., DING, P. Trends and advances in edible biopolymer coating for tropical fruit: A review. **Food Research International**, [s.l.], v. 134, [s.n], p. 109208, 2020.

NUNES, C., *et al.* Edible Coatings and Future Trends in Active Food Packaging-Fruits' and Traditional Sausages' Shelf Life Increasing. **Foods**, [s.l.], v. 12, n. 17, p. 3308, 2023.

OLIVEIRA, C. **Atividade antioxidante e caracterização do perfil metabolômico da casca, semente e polpa das variedades Margarida, Breda e Geada do abacate (*Persea americana*)**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2019.

OLIVEIRA, F., *et al.* Influence of irrigation, cladode size, harvest time and addition of citric acid on the properties of cactus mucilage. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [s.l.], v. 52, [s.n], p. e72559, 2022.

OLIVEIRA, G., *et al.* Potencial antioxidante de cladódios e mucilagens com e sem clorênquima de *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller e *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck. **Revista Delos**, [s.l.], v. 18. [s.n], p. e6008, 2025.

OLIVEIRA, K., *et al.* Synergistic mixtures of chitosan and *Mentha piperita* L. essential oil to inhibit *Colletotrichum* species and anthracnose development in mango cultivar Tommy Atkins. **Food Microbiology**, [s.l.], v. 66, [s.n], p. 96–103, 2017.

OLIVEIRA, V., *et al.* Use of biopolymeric coating hydrophobized with beeswax in post-harvest conservation of guavas. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 259, [s.n], p. 55–64, 2018.

OLICÓN-HERNÁNDEZ, D., *et al.* Quitosano y mucílago de *Opuntia ficus-indica* (nopal) como base de una película polimérica comestible para la protección de tomates contra *Rhizopus stolonifer*. **Revista especializada en ciencias químico-biológicas**, [s.l.], v. 22, [s.n], p. e194, 2019.

OSONDU, H., *et al.* Coating properties, resistance response, molecular mechanisms and anthracnose decay reduction in green skin avocado fruit (‘Fuerte’) coated with chitosan hydrochloride loaded with functional compounds. **Postharvest Biology and Technology**, [s.l.], v. 186, [s.n], p. 111812, 2022.

PELEG, M. A new look at models of the combined effect of temperature, pH, water activity, or other factors on microbial growth rate. **Food Engineering Reviews**, [s.l.], v. 14, n. 1, p. 31–44, 2022.

PESSOA, D., *et al.* Forage cactus of the genus *Opuntia* in different with the phenological phase: nutritional value. **Journal of Arid Environments**, [s.l.], v. 181, [s.n], p. 104243, 2020.

PINHEIRO, J., *et al.* Effects of cactus pear clone harvest seasons and times on the physicochemical and technological properties of resulting mucilage and biopolymeric films. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s.l.], v. 257, [s.n], p. 128374, 2024.

QUATTRINI, M., *et al.* Exploiting synergies of sourdough and antifungal organic acids to delay fungal spoilage of bread. **International Journal of Food Microbiology**, [s.l.], v. 302, [s.n], p. 8–14, 2019.

QUINTERO-GARCIA, M., *et al.* Comparative analysis of the chemical composition and physicochemical properties of the mucilage extracted from fresh and dehydrated *Opuntia ficus indica* Cladodes. **Foods**, [s.l.], v. 10, n. 9, 2021.

RAHMATI-JONEIDABAD, M., *et al.* Investigating the inhibition of the growth of spoilage fungi causing apple's rot and mold using *Elettaria cardamomum* essential oil. **Iranian journal of food science and industry**, [s.l.], v. 21, n. 154, p. 202–212.

RAMOS, B., *et al.* Biopreservation approaches to reduce *Listeria monocytogenes* in fresh vegetables. **Food Microbiology**, [s.l.], v. 85, [S.n], p. 103282, 2020.

RANJITH, F., *et al.* Effects of lacto-fermented agricultural by-products as a natural disinfectant against post-harvest diseases of mango (*Mangifera indica* L.). **Plants**, [s.l.], v. 10, n. 2, p. 285, 2021.

REMIZE, F., *et al.* Editorial for Special Issue “Lactic Acid Bacteria, Biopreservation Agents for Fruit and Vegetables”. **Microorganisms**, [s.l.], v. 9, [s.n], p. 939, 2021.

RHODEN, S., *et al.* Aspectos físicos, químicos e genéticos na interação patógeno planta hospedeira. **SaBios: Revista de Saúde e Biologia**, [s.l.], v. 14, [s.n], p. 34–41, 2019.

RICCI, A., *et al.* Vegetable By-Product Lacto-Fermentation as a New Source of Antimicrobial Compounds. **Microorganisms**, [s.l.], v. 7, [s.n], p. e607, 2019.

RODRIGUES, F., *et al.* Propriedades funcionais e aplicações da mucilagem de *Opuntia ficus-indica* como matriz polimérica em revestimentos comestíveis. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 53, [s.n], p. e72611, 2023.

RODRIGUES, N. **Seleção de bactérias lácticas com potencial probiótico isoladas de frutas e avaliação da capacidade de sobrevivência de *Limosilactobacillus fermentum* em sucos de frutas**. 2021. Tese (Doutorado em Ciências da Nutrição) - Universidade Federal da Paraíba, 2021.

RODRIGUES, T., *et al.* Quality, antioxidant and enzymatic activities of facheiro (*Pilosocereus pachycladus* ritter) fruits during maturation. **Revista Caatinga**, [s.l.], v. 32, n. 4, p. 1092–1103, 2019.

RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, M., *et al.* Enhanced extraction of mucilage from *Opuntia ficus-indica* cladodes using combined enzymatic and mechanical processes. **Carbohydrate Polymers**, [s.l.], v. 264, [s.n], p. 118044, 2022.

RUFINO, M., *et al.* **Metodologia Científica**: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH e ABTS. Comunicado Técnico: Embrapa, v. 127, p. 1-4, 2007. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAT/10224/1/Cot_127.pdf. Acesso em: 04 ago. 2025.

RUFINO, M., *et al.* **Metodologia Científica**: determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP). Comunicado Técnico: Embrapa, v. 125, p. 1-4, 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/664098/1/cot125.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2025.

SADIQ, F., *et al.* Lactic acid bacteria as antifungal and anti-mycotoxigenic agents: A comprehensive review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, [s.l.], v. 18, [s.n], p. 1403–1436, 2019.

SÁENZ, C., *et al.* Evaluation of cactus mucilage as a natural stabilizer in cosmetic formulations. **Journal of Cosmetic Science**, [s.l.], v. 71, n. 4, p. 265–274, 2020.

SAMPAIO, A., WHATELY, M. **Abacaticultura sustentável**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2022.

SANPA, S., *et al.* Lactic acid bacteria isolates from Pla-som, their antimicrobial activities and fermentation properties in Pla-som. **Journal of Food Health and Bioenvironmental Science**, [s.l.], v. 12, [s.n], p. 36–43, 2019.

SANTOS, L., *et al.* Ocorrência de antracnose em abacateiros e estratégias de controle pós-colheita. **Cadernos de Agroecologia**, [s.l.], v. 18, n. 2, p. 1–6, 2023.

SANTOS, T., *et al.* Enhancing storage stability of guava with tannic acid-crosslinked zein coatings. **Food chemistry**, Barking, v. 257, [s.n], p. 252–258, 2018.

SHARMA, R., *et al.* Advances in postharvest diseases management of fruits and vegetables: a review. **Horticulturae**, [s.l.], v. 9, n. 10, p. 1110, 2023.

SHIMSHONI, J., *et al.* Postharvest fungicide for avocado fruits: antifungal efficacy and peel to pulp distribution kinetics. **Foods**, [s.l.], v. 9, n. 2, p. 124, 2020.

SHINGA, M., FAWOLE, O. *Opuntia ficus-indica* mucilage coatings regulate cell wall softening enzymes and delay the ripening of banana fruit stored at retail conditions. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s.l.], v. 245, [s.n], p. 125550, 2023.

SILVA, M., *et al.* Qualidade pós-colheita de abacates submetidos a diferentes métodos de conservação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 43, [s.n], p. e-195, 2021.

SILVA, S., *et al.* **Manejo integrado de doenças de solo e de parte aérea**. Abacaticultura sustentável. Ponta Grossa: Atena. p. 105–124, 2022.

SIGMASTAT (programa de computador). Versão 3.5. Point Richmond (Califórnia): Comercial, 2006.

SIQUEIRA, A. **Morfometria, produção e composição químico-bromatológica de cultivares de palma forrageira submetidos à adubação orgânica**. 2018. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba. 2018.

SIVAKUMAR, D., GUNES, N., ROMANAZZI, G. A Comprehensive Review on the Impact of Edible Coatings, Essential Oils, and Their Nano Formulations on Postharvest Decay Anthracnose of Avocados, Mangoes, and Papayas. **Frontiers in Microbiology**, [s.l.], v. 12, [s.n], p. 711092, 2021.

SORTINO, G., *et al.* Application of *Opuntia ficus-indica* Mucilage and Aloe Gel-Based Edible Coating to Enhance Postharvest Quality and Microbiological Aspects of Fresh Figs (*Ficus carica* L.). **Horticulturae**, [s.l.], v. 10, [s.n], p. 482, 2024.

SOUSA, F., *et al.* Conservation of ‘palmer’ mango with an edible coating of hydroxypropyl methylcellulose and beeswax. **Food Chemistry**, Barking, v. 346, [s.n], p. 128925, 2021.

SPERANZA, B., *et al.* Viability of *Lactobacillus plantarum* on fresh-cut chitosan and alginate-coated apple and melon pieces. **Frontiers in Microbiology**, [s.l.], v. 9, [s.n], p. 2538, 2018.

STRACK, L., *et al.* Food biopreservation using antimicrobials produced by lactic acid bacteria. **Research, Society and Development**, [s.l.], v. 9, n. 8, p. e998986666, 2020.

SRIVASTAVA, J., SINGH, A. **Diseases of Horticultural Crops: Diagnosis and Management**. Volume 1: Fruit Crops. 1. ed. Boca Raton: Apple Academic Press, 2022.

THOMPSON, S., *et al.* Avocado Consumption Alters Gastrointestinal Bacteria Abundance and Microbial Metabolite Concentrations among Adults with Overweight or Obesity: A Randomized Controlled Trial. **The Journal of Nutrition**, [s.l.], v. 151, [s.n], p. 753–762, 2021.

VASCONCELOS, A., *et al.* Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius* sp.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s.l.], v. 38, [s.n], p. 827–831, 2009.

VIEIRA, A., *et al.* Mucilages of cacti from Brazilian biodiversity: Extraction, physicochemical and technological properties. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 346, [s.n], p. 128892, 2021.

VILAPLANA, R., *et al.* Control of anthracnose, caused by *Colletotrichum musae*, on postharvest organic banana by thyme oil. **Postharvest Biology and Technology**, [s.l.], v. 138, [s.n], p. 56–63, 2018.

VIPAN, B., *et al.* Natural Coatings for Shelf-Life Enhancement and Quality Maintenance of Fresh Fruits and Vegetables-A Review. **Journal of Postharvest Technology**, [s.l.], v. 6, [S.n], p. 12–26, 2018.

VITTI, A., *et al.* *In vitro* antifungal activity and *in vivo* edible coating efficacy of insect-derived chitosan against *Botrytis cinerea* in strawberry. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s.l.], v. 279, [s.n], p. 135158, 2024.

WU, Y., *et al.* *Bacillus amyloliquefaciens* strains control strawberry anthracnose through antagonistic activity and plant immune response intensification. **Biological Control**, San Diego, v. 157, [s.n], p. 104592, 2021.

YUSUF, M. Natural Antimicrobial Agents for Food Biopreservation. Food Packaging and Preservation. **Academic Press**, Boca Raton, v. 9, [s.n], p. 409–438, 2018.

ZHANG, Y., *et al.* Antifungal activity of lactic acid bacteria and their metabolites against phytopathogenic fungi: mechanisms and applications. **Journal of Fungi**, [s.l.], v. 10, [s.n], p. 359, 2024.

ZHAO, X., TONG, Y. Defining mechanisms of C₃ to CAM photosynthesis transition in facultative CAM plants: challenges and future directions. **International Journal of Molecular Sciences**, [s.l.], v. 24, n. 17, p. 13072, 2023.

ZHAO, Y. Edible Coatings for Extending Shelf-Life of Fresh Produce During Postharvest Storage. **Encyclopedia of Food Security and Sustainability**, [s.l.], v. 2, [s.n], p. 506–510, 2019.