

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Faculdade de Farmácia
Programa de pós-graduação em Ciência de Alimentos

Maria José Cota de Oliveira

**FILMES COMESTÍVEIS PRODUZIDOS COM FARINHA DE CASCA DE BANANA
MADURA, AMIDO DE MILHO E EXTRATO DAS FOLHAS DE *ERIOBOTRYA*
JAPONICA LINDL.**

Belo Horizonte

2024

Maria José Cota de Oliveira

**FILMES COMESTÍVEIS PRODUZIDOS COM FARINHA DE CASCA DE BANANA
MADURA, AMIDO DE MILHO E EXTRATO DAS FOLHAS DE *ERIOBOTRYA*
JAPONICA LINDL.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciência de Alimentos.

Área de Concentração: Qualidade de Alimentos

Orientadora: Profa. Dra. Camila Argenta Fante

Coorientadora: Dra. Viviane Dias Medeiros Silva

Belo Horizonte

2024

O48f Oliveira, Maria José Cota de.
Filmes comestíveis produzidos com farinha de casca de banana madura, amido de milho e extrato das folhas de *Eriobotrya Japonica* Lindl. [recurso eletrônico] / Maria José Cota de Oliveira. – 2024.
1 recurso eletrônico (160 f. : il.) : pdf.

Orientadora: Camila Argenta Fante.
Coorientadora: Viviane Dias Medeiros Silva.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Farmácia, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Eriobotrya – Teses. 2. Filmes comestíveis – Teses. 3. Farinha de banana – Teses. 4. Alimentos – Embalagens – Teses. 5. Compostos bioativos – Teses. 6. Tecnologia sustentável – Teses. I. Fante, Camila Argenta. II. Silva, Viviane Dias Medeiros. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Faculdade de Farmácia. IV. Título.

CDD: 664.092



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

FOLHA DE APROVAÇÃO**FILMES COMESTÍVEIS PRODUZIDOS COM FARINHA DE CASCA DE BANANA MADURA, AMIDO DE MILHO E EXTRATO DAS FOLHAS DE ERIBOTRYA JAPONICA LINDL.****MARIA JOSÉ COTA DE OLIVEIRA**

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA DE ALIMENTOS, como requisito para obtenção do grau de Mestre em CIÊNCIA DE ALIMENTOS, área de concentração CIÊNCIA DE ALIMENTOS.

Aprovada em 06 de dezembro de 2024, pela banca constituída pelos membros:

Profa. Dra. Camila Argenta Fante (Orientadora e presidente da comissão) - UFMG

Dra. Viviane Dias Medeiros Silva (Coorientadora) - UFMG

Profa. Dra. Raquel Linhares Bello de Araújo - UFMG

Profa. Dra. Roseane Batitucci Passos de Oliveira - UFMG

Assinatura dos membros da banca examinadora:



Documento assinado eletronicamente por **Raquel Linhares Bello de Araujo, Professora do Magistério Superior**, em 09/12/2024, às 11:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Camila Argenta Fante, Professora do Magistério Superior**, em 09/12/2024, às 11:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Viviane Dias Medeiros Silva, Usuário Externo**, em 09/12/2024, às 20:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Roseane Batitucci Passos de Oliveira, Professora do Magistério Superior**, em 11/12/2024, às 18:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3794900** e o código CRC **96729B41**.

Dedico este trabalho a todos que, através dos estudos, transformaram suas vidas, e àqueles que ainda não tiveram essa oportunidade, mas carregam dentro de si o potencial para mudar sua própria história.

Que esta seja um alento de que o conhecimento tem o poder de abrir caminhos, nos tornando instrumentos de mudança e transformação da realidade.

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho só foi possível graças ao apoio, orientação e incentivo de muitas pessoas e instituições, e, acima de tudo, pela força divina que me sustentou em todos os momentos. Agradeço, primeiramente, a Deus, por me fortalecer, guiar meus passos e me conceder a perseverança necessária para seguir em frente, mesmo nos momentos mais desafiadores em que pensei em desistir. Sua presença foi meu alicerce e minha fonte de esperança ao longo de toda esta caminhada. Agradeço também a São Miguel Arcanjo, meu anjo protetor, que sempre me guarda e protege de todo mal, e à Nossa Senhora, mãe de Jesus e minha mãe espiritual, por toda a proteção, cuidado e amparo constantes.

Aos meus pais e ao meu irmão Fausto (in memoriam), minha eterna gratidão pelo exemplo de vida e pelos valores que me transmitiram. Aos meus onze irmãos, que desde cedo me incentivaram e, muitas vezes, assumiram papéis de pais e mães, transmitindo-me dedicação, amor, inspiração e cuidado, moldando quem sou hoje, meu profundo agradecimento.

Aos meus filhos, Felipe Augusto, Maíra Elisa e Amanda Luiza, minha mais profunda gratidão. Vocês são a razão da minha força, o meu oxigênio e o motivo da minha perseverança. Cada conquista na vida é dedicada a vocês! Ao meu genro João e à minha nora Anna, minha gratidão por todo o apoio e por fazerem parte da minha vida. Aos meus amados sobrinhos e afilhados (Isack, Samuel Calixto, Isabela, Larissa, Fabinho, Weberson, Matheus, Pedro Henrique e Arthur), espero ser uma inspiração para vocês ao verem minha dedicação aos estudos. Ao meu namorado, Moisés Nogueira, que esteve ao meu lado nos últimos meses, oferecendo apoio emocional, paciência e encorajamento quando mais precisei, minha imensa gratidão.

À minha orientadora, a Professora Dra. Camila Argenta Fante, e à minha coorientadora, Dra. Viviane Dias Medeiros Silva, minha sincera gratidão pela paciência, orientação precisa, incentivo constante e confiança ao longo desta jornada. À minha orientadora, Dra. Camila, agradeço especialmente pela oportunidade e pelo olhar atento e cuidadoso, que foi fundamental para o amadurecimento deste trabalho. À coorientadora Dra. Viviane, obrigada pelo apoio técnico, pelos conselhos valiosos e por tanta dedicação.

À Professora Dra. Susana Johann e ao aluno de iniciação científica João, do Laboratório de Taxonomia, Biodiversidade e Biotecnologia de Fungos do Instituto de Ciências Biológicas (ICB), minha gratidão pelas contribuições técnicas e pela valiosa

colaboração. À Professora Dra. Clésia C. Nascentes, do Laboratório de Química Analítica e Forense (LaQaFor), Departamento de Química, agradeço a colaboração nas análises de minerais, que enriqueceram significativamente este trabalho.

Aos meus colegas de mestrado, aos diversos grupos de pesquisa do Departamento de Alimentos e a todos os ex-alunos de mestrado e doutorado que me antecederam e já se formaram, minha gratidão pelos ensinamentos, pelo incentivo e pela convivência enriquecedora que contribuíram para minha jornada.

À querida Professora Raquel Linhares e a todos os professores do Departamento de Alimentos, agradeço profundamente por tantas vezes abrirem seus laboratórios e gabinetes para compartilhar conhecimento, tirar dúvidas e autorizar as atividades que tornaram este trabalho possível.

Aos TAEs (Dhionne, Edna, Elaine, Gabriel Barbosa, Gabriel Rotsen, Gustavo, Ludmila, Marcos, Mariana, Marina, Ronália e Rafael), meu sincero agradecimento pela ajuda constante, atenção às minhas necessidades nos laboratórios e carinho demonstrado ao longo dessa trajetória.

Agradeço, de forma especial, à querida amiga Elaine Cristina, pela generosidade em compartilhar conhecimentos e por me socorrer tantas vezes, especialmente durante as análises microbiológicas. Ao Gabriel Barbosa, minha gratidão por assumir as atividades do meu trabalho, permitindo que eu pudesse me dedicar plenamente ao mestrado.

À Marinez, colega de mestrado que se tornou uma grande amiga, meu agradecimento pelo apoio constante, pelo carinho, pelas palavras de incentivo e pela fé inabalável, que, em muitos momentos, também me sustentou. À minha querida amiga Renata Mairyrink, obrigada pela parceria e compreensão durante esta fase tão importante.

Aos queridos Guilherme Adami e Bruno, minha gratidão pela amizade e pela força ao longo dessa jornada, formando um trio especial que pretendo levar para toda a vida.

Por fim, agradeço à Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, e a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos, meu mais sincero muito obrigada!

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes” (Marthin Luther King).

RESUMO

A valorização de resíduos agroindustriais e o desenvolvimento de materiais biodegradáveis têm ganhado destaque como alternativas ao descarte inadequado de resíduos e ao uso de materiais sintéticos. Este estudo objetivou desenvolver filmes comestíveis à base de farinha de casca de banana madura (*Musa spp.*) e amido de milho, incorporados com diferentes concentrações de extratos das folhas de *Eriobotrya japonica* Lindl., avaliando suas propriedades físico-químicas, bioativas e funcionais. Os filmes foram elaborados utilizando a técnica de "casting" por solvente, e suas características foram investigadas por meio de análises estruturais, térmicas, mecânicas e microbiológicas. Os filmes desenvolvidos a partir de farinha de casca de banana apresentaram resistência à tração entre 1,09 MPa (FSE - filme sem extrato) e 1,65 MPa (FSE24 - filme com 24% de extrato), evidenciando a formação de uma matriz coesa e estável. As taxas de alongamento na ruptura variaram de 17,02% a 30,94%, indicando elevada flexibilidade, uma característica essencial para aplicações em embalagens biodegradáveis. Embora os extratos de *Eriobotrya japonica* tenham conferido propriedades antioxidantes significativas aos filmes, o potencial antimicrobiano não foi evidenciado, sendo que apenas o extrato bruto demonstrou atividade específica contra *Candida albicans*, sugerindo que a bioatividade antimicrobiana não foi efetivamente incorporada aos filmes nas concentrações testadas.

As formulações desenvolvidas apresentaram propriedades mecânicas alinhadas aos critérios estabelecidos pela FDA (Food and Drug Administration) e pela EFSA (European Food Safety Authority), como resistência mecânica, elasticidade, barreira contra umidade e segurança alimentar. Dentre elas, FSE destacou-se pela resistência e elasticidade, enquanto FE 12 mostrou equilíbrio funcional e elevada capacidade antioxidante, reforçando seu valor bioativo. A formulação FE 2 apresentou bom desempenho em resistência mecânica e segurança alimentar, com altos teores de Cobre (97,22 mg/100g) e Zinco (38,77 mg/100g), minerais com propriedades bioativas e metabólicas. Embora FE 24 tenha apresentado menor desempenho mecânico devido à diluição dos componentes ativos, manteve potencial biodegradável, reforçando sua aplicabilidade sustentável.

A análise dos compostos fenólicos totais (CFT) revelou um aumento proporcional ao incremento da concentração do extrato de *Eriobotrya japonica*, indicando maior capacidade antioxidante nas formulações com extrato. Quanto à composição mineral,

a formulação FSE apresentou os maiores teores de Potássio (5386,91 mg/100g) e Cálcio (322,96 mg/100g), enquanto FE 12 destacou-se pelos níveis significativos de Magnésio (13,36 mg/100g) e Ferro (8,96 mg/100g), reforçando seu potencial biofuncional. Essas características mostram que as formulações são viáveis para o desenvolvimento de embalagens comestíveis e biodegradáveis que atendem às exigências da indústria alimentícia.

Este estudo demonstra a viabilidade do uso de resíduos agroalimentares e compostos bioativos naturais na formulação de materiais inovadores e sustentáveis. Assim, os resultados obtidos evidenciam o potencial desses materiais em promover tecnologias ambientalmente responsáveis e funcionais, alinhadas às demandas da economia circular e da preservação ambiental.

Palavras-chave: *Eriobotrya japônica*; filmes comestíveis; farinha de casca de banana; alimentos; embalagens; compostos bioativos; tecnologia sustentável.

ABSTRACT

The valorization of agro-industrial waste and the development of biodegradable materials have gained prominence as alternatives to the improper disposal of waste and the use of synthetic materials. This study aimed to develop edible films based on ripe banana peel flour (*Musa spp.*) and corn starch, incorporating different concentrations of extracts from the leaves of *Eriobotrya japonica* Lindl., and to evaluate their physicochemical, bioactive, and functional properties. The films were produced using the solvent casting technique, and their characteristics were investigated through structural, thermal, mechanical, and microbiological analyses. The films developed from banana peel flour exhibited tensile strength ranging from 1.09 MPa (FSE - film without extract) to 1.65 MPa (FSE24 - film with 24% extract), demonstrating the formation of a cohesive and stable matrix. Elongation at break rates ranged from 17.02% to 30.94%, indicating high flexibility, a key feature for biodegradable packaging applications. Although the extracts of *Eriobotrya japonica* conferred significant antioxidant properties to the films, antimicrobial potential was not observed, as only the crude extract exhibited specific activity against *Candida albicans*, suggesting that antimicrobial bioactivity was not effectively incorporated into the films at the tested concentrations.

The developed formulations presented mechanical properties aligned with the criteria established by the FDA (Food and Drug Administration) and EFSA (European Food Safety Authority), such as mechanical strength, elasticity, moisture barrier, and food safety. Among them, FSE stood out for its tensile strength and elasticity, while FE 12 demonstrated functional balance and high antioxidant capacity, reinforcing its bioactive value. The FE 2 formulation showed good performance in mechanical strength and food safety, with high levels of Copper (97.22 mg/100g) and Zinc (38.77 mg/100g), minerals with bioactive and metabolic properties. Although FE 24 presented lower mechanical performance due to the dilution of active components, it maintained its biodegradable potential, reinforcing its sustainable applicability.

The analysis of total phenolic compounds (TPC) revealed a proportional increase with the concentration of *Eriobotrya japonica* extract, indicating higher antioxidant capacity in formulations containing the extract. Regarding mineral composition, the FSE formulation showed the highest levels of Potassium (5386.91 mg/100g) and Calcium (322.96 mg/100g), while FE 12 was notable for significant levels of Magnesium (13.36 mg/100g) and Iron (8.96 mg/100g), further reinforcing its biofunctional potential. These

characteristics demonstrate that the formulations are viable for the development of edible and biodegradable packaging that meets the demands of the food industry.

This study demonstrates the feasibility of using agro-food residues and natural bioactive compounds in the formulation of innovative and sustainable materials. The results obtained highlight the potential of these materials to promote environmentally responsible and functional technologies, aligned with the demands of the circular economy and environmental preservation.

Keywords: *Eriobotrya japonica*; edible films; banana peel flour; food; packaging; bioactive compounds; sustainable technology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Utilização de subprodutos agrícolas na indústria farmacêutica, cosmética e de alimentos.....	29
Figurara 2. Anatomia da bananeira.....	32
Figurara 3. Morfologia da banana.....	32
Figura 4. Escala de Maturação de Von Loesecke.....	34
Figura 5. Folhas e frutos da nespereira.....	37
Figura 6. Representação de elaboração de filmes para cicatrização de feridas através da técnica Casting por solvente.....	43
Figura 7. Percepção das embalagens sustentáveis.....	45
Figura 8. Fluxo do Preparo da farinha da casca de Banana.....	52
Figura 9. Arranjo geométrico simplificado usado na metodologia TRXF.....	55
Figura 10. Fluxo de Preparo do Extrato Bruto.....	61
Figura 11. Técnica de Spread Plate (espalhamento superficial) e espalhador de vidro.....	68
Figura 12. Esquema de Diluição seriada em placa.....	70
Figura 13. Fluxograma das etapas do trabalho experimental.....	72
Figura 14. Preparo dos Filmes Comestíveis.....	75
Figura 15. Atividade Antibacteriana e Antifúngica: Inibição em Teste de CIM.....	100
Figura 16. Avaliação da Atividade Antimicrobiana de Extratos Vegetais.....	101
Figura 17- Foto dos filmes comestíveis produzidos com farinha de casca de banana, amido de milho e extrato de <i>Eriobotrya japonica</i>	104
Figura 18. Curvas termogravimétricas (a) e derivadas (b) dos filmes desenvolvidos.....	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estimativas de desperdício alimentar dos agregados familiares (com base em pontos de dados quantificados ou extrapolações) dos dois países mais populosos de cada continente.....	25
Tabela 2. Esquema de Tratamentos e Repetições das Formulações de Filmes com Diferentes Concentrações de Extrato para Avaliação da Atividade Antimicrobiana....	71
Tabela 3. Delineamento Experimental Inteiramente Casualizado (DIC).....	73
Tabela 4. Proporções de solução filmogênica e de extrato da folha de <i>E. japonica</i> nas formulações dos filmes comestíveis.....	74
Tabela 5. Diluição para Análise do Teor de Minerais em Filmes de Extrato de <i>Eriobotrya japonica</i>	78
Tabela 6. Diluição: Volume de extratos e de solução de acetona para Análise de Compostos Fenólicos Totais.....	79
Tabela 7. Diluição: Volume de extrato bruto e de álcool etílico utilizados nas diluições para Análise de Atividade Antioxidante – ABTS.....	80
Tabela 8. Volume de extrato bruto e de álcool metílico utilizados nas diluições para Análise de Atividade Antioxidante – DPPH.....	82
Tabela 9. Volume de extrato bruto e de água destilada utilizados nas diluições para Análise de Atividade Antioxidante – FRAP.....	83
Tabela 10. Teores de minerais na farinha de casca de banana.....	90
Tabela 11. Teores de minerais no extrato das folhas de <i>Eriobotrya japonica</i>	95
Tabela 12. Teste de concentração inibitória mínima (CIM) por microdiluição e teste de difusão em ágar por disco dos extratos das folhas de <i>E. japonica</i> contra <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i> e <i>Cândida albicans</i>	100
Tabela 13. Teores de Umidade e Cinzas em diferentes formulações de filmes comestíveis obtidos de casca de banana, amido de milho e extrato de folhas de nespereira.....	103
Tabela 14. Valores de pH (filmes e soluções filmogênicas) e de acidez titulável em diferentes formulações de filmes comestíveis obtidos de casca de banana, amido de milho e extrato de folhas de nespereira.....	109
Tabela 15. Atividade de água (Aw) e solubilidade em diferentes formulações de filmes de casca de banana com extrato de <i>Eriobotrya japonica</i>	110

Tabela 16. (a) e (b)- Composição mineral das formulações de filmes desenvolvidos com farinha de casca de banana madura, amido de milho e adicionados de diferentes concentrações de extrato de <i>Eriobotrya japônica</i>	114
Tabela 17. Compostos Fenólicos totais e Atividade Antioxidante.....	118
Tabela 18. Espessura e Gramatura dos Filmes.....	121
Tabela 19. Propriedades mecânicas dos filmes com extratos de folhas de <i>Eriobotrya japônica</i>	124
Tabela 20. Parâmetros colorimétricos dos filmes da casca de banana.....	127
Tabela 21. Análise antimicrobiana dos filmes.....	129

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abs - Absorbância

ABTS - 2,2-azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico) sal diamônio

AL - Taxa de alongamento à ruptura

ANOVA - Análise de variância

AOAC - Association of Official Analytical Chemists

ASTM - American Society for Testing and Materials

AAT - Atividade antioxidante total

Aw- Atividade de água

BHI- (Brain Heart Infusion)

BRO UPQA - Unidade de Pesquisa em Química de Alimentos

°C - Graus Celsius

c* - Croma

CIM - Concentração inibitória mínima

CFT -Compostos Fenólicos Totais

Cm - centímetro

CMH - Caldo Muller-Hinton

D - Distância

DIC – Delineamento Inteiramente Casualizado

DP- Deformação à perfuração

DPPH - 2,2-difenil-1-picril-hidrazil

DQ- Departamento de Química

EAG - Equivalente de ácido gálico

ET- Equivalentes de Trolox

FE 2 - Filme da farinha da casca de banana com 2% do extrato das folhas de *Eriobotrya japonica*

FE 4 - Filme da farinha da casca de banana com 4% do extrato das folhas de *Eriobotrya japonica*

FE 8 - Filme da farinha da casca de banana com 4% do extrato das folhas de *Eriobotrya japonica*

FE 12 - Filme da farinha da casca de banana com 4% do extrato das folhas de *Eriobotrya japonica*

FE 24 - Filme da farinha da casca de banana com 4% do extrato das folhas de *Eriobotrya japonica*

FAFAR- Faculdade de Farmácia
FCB- Farinha da Casca de Banana Prata
FSE- Filme padrão da farinha da casca de banana puro
Fmax - Força máxima
FMI - Future Market Insights
FRAP- Ferric Reducing Antioxidant Power
g- Grama
h- Hora
h°- Ângulo hue ou tonalidade da cor
ICB - Instituto de Ciências Biológicas
L- Linear
L* - Luminosidade
LaQaFor - Laboratório de Química Analítica e Forense
LTBBF- Laboratório de Taxonomia, Biodiversidade e Biotecnologia de Fungos
ME- Módulo elástico
MH - Mueller-Hinton
min- Minutos
mL- Mililitros
mm - Milímetros
Mpa - Megapascal
N - Newton
n- Número amostral
nm- Nanômetros
 ΔP - Diferença de pressão de vapor
Pi- Peso seco inicial
Pf - Peso seco final
p/p - Peso por peso
p/t- Perda de peso por unidade de tempo
p/v - Peso por volume
PVA - Permeabilidade ao vapor de água
Q - Quadrático
r - Raio
RP - Resistência à perfuração
Rpm - Rotações por minuto

RT - Resistência à tração

S - Segundos

AS - Solubilidade em água

SOPT - Setor de Operações, Processos e Tecnologia

TPTZ - 2,4,6-Tris(2-piridil) -s-triazina

TXRF - Análise de Minerais por Fluorescência de Raios-X

UFC - Unidade formadora de colônia

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

UR - Umidade relativa

v/v - Volume por volume

1	INTRODUÇÃO.....	25
2	OBJETIVO.....	Erro! Indicador não definido.
2.1	Objetivo geral.....	Erro! Indicador não definido.
2.2	Objetivos específicos.....	Erro! Indicador não definido.
3	REVISÃO LITERATURA	Erro! Indicador não definido.
3.1.	Produção global de alimentos: Desperdício alimentar, fome e valorização de subprodutos	Erro! Indicador não definido.
3.2.	Resíduos agroalimentares e resíduos alimentares: definição e classificação	Erro! Indicador não definido.
3.2.1.	Importância do aproveitamento de resíduos de cascas de frutos ...	Erro! Indicador não definido.
3.3.	Banana.....	Erro! Indicador não definido.
3.3.1.	A bananeira e seu fruto.....	Erro! Indicador não definido.
3.3.2.	O uso sustentável da casca de banana:Potencial funcional econômico	Erro! Indicador não definido.
3.4.	<i>Eriobotrya japonica</i>: morfologia, cultivo e aplicações...	Erro! Indicador não definido.
3.4.1.	Características estruturais, fitoterápicas e econômicas da nespereira	Erro! Indicador não definido.
3.4.2.	Composição e propriedades funcionais	Erro! Indicador não definido.
3.4.3.	Atividade antimicrobiana	Erro! Indicador não definido.
3.5.	Filmes comestíveis	Erro! Indicador não definido.
3.5.1.	Definição e aplicação.....	Erro! Indicador não definido.
3.5.2.	Matérias-primas para filmes comestíveis.....	Erro! Indicador não definido.
3.5.3	Processo de Elaboração de Filmes Poliméricos	Erro! Indicador não definido.
3.5.4	Eficiência dos filmes comestíveis na preservação e extensão da vida útil de alimentos.....	Erro! Indicador não definido.
4.	MATERIAL E MÉTODOS	Erro! Indicador não definido.
4.1.	Material.....	Erro! Indicador não definido.
4.1.1.	Equipamentos.....	Erro! Indicador não definido.
4.1.2.	Reagentes	Erro! Indicador não definido.
4.1.3.	Amido de Milho.....	Erro! Indicador não definido.
4.1.4.	Folhas de <i>Eriobotrya japonica</i>	Erro! Indicador não definido.

- 4.1.5. **Bananas** Erro! Indicador não definido.
- 4.2. **Métodos**..... Erro! Indicador não definido.
- 4.2.1. **Obtenção da farinha de casca de banana** Erro! Indicador não definido.
- 4.2.2. **Caracterização da farinha de casca de banana** .Erro! Indicador não definido.
- 4.2.2.1. **Análise físico-química** Erro! Indicador não definido.
- 4.2.2.1.1. **Umidade** Erro! Indicador não definido.
- 4.2.2.1.2. **Cinzas** Erro! Indicador não definido.
- 4.2.2.1.3. **Atividade de água (Aw)** Erro! Indicador não definido.
- 4.2.2.1.4. **Análise de minerais** Erro! Indicador não definido.
- 4.2.2.2. **Análises dos compostos fenólicos e potencial antioxidantes** Erro!
Indicador não definido.
- 4.2.2.2.1. **Preparo do extrato da farinha da casca de banana** Erro!
Indicador não definido.
- 4.2.2.2.2. **Análises dos compostos fenólicos totais (CFT)**... Erro! Indicador
não definido.
- 4.2.2.2.3. **Atividade antioxidante pela captura do radical livre ABTS *+**
Erro! Indicador não definido.
- 4.2.2.2.4. **Capacidade antioxidante pela reação com o radical livre DPPH** ... Erro!
Indicador não definido.
- 4.2.2.2.5. **Capacidade antioxidante pela reação de redução do ferro
(FRAP)**. Erro! Indicador não definido.
- 4.2.3. **Obtenção do extrato bruto das folhas de nespereira** ... Erro! Indicador não
definido.
- 4.2.4. **Caracterização do extrato bruto**..... Erro! Indicador não definido.
- 4.2.4.1. **Preparo da amostra** Erro! Indicador não definido.
- 4.2.4.1.1. **Análise físico-química**..... Erro! Indicador não definido.
- 4.2.4.1.2. **Análise de minerais** Erro! Indicador não definido.
- 4.2.5. **Análise dos compostos fenólicos e antioxidantes** Erro! Indicador não
definido.
- 4.2.5.1. **Composto fenólicos totais (CFT)** Erro! Indicador não definido.
- 4.2.5.2. **Atividade antioxidante pelo radical Livre ABTS*+**
.....Err
o! Indicador não definido.

- 4.2.5.3. Capacidade antioxidante pela reação com o radical livre DPPH Erro!**
Indicador não definido.
- 4.2.5.4. Capacidade antioxidante pela reação de redução do ferro (FRAP) . Erro!**
Indicador não definido.
- 4.2.5.5. Preparo do extrato purificado com carvão ativo para análise de substâncias fenólicas Erro!** Indicador não definido.
- 4.2.5.6. Compostos fenólicos totais com extrato purificado (CFT). Erro!** Indicador não definido.
- 4.2.6. Atividade antimicrobiana Erro!** Indicador não definido.
- 4.2.6. 1. Teste de disco de difusão em ágar Erro!** Indicador não definido.
- 4.2.6.2. Preparo dos microrganismos..... Erro!** Indicador não definido.
- 4.2.6.4. Preparação dos Discos de Papel Filtro Erro!** Indicador não definido.
- 4.2.6.5. Aplicação de Discos a Placas de Ágar Inoculadas Erro!** Indicador não definido.
- 4.2.6.6. Concentração Inibitória Mínima (CIM) Erro!** Indicador não definido.
- 4.2.7. Filmes comestíveis..... Erro!** Indicador não definido.
- 4.2.7.1. Testes iniciais Erro!** Indicador não definido.
- 4.2.7.1.1. Delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC)..... Erro!**
Indicador não definido.
- 4.2.7.1.2. Preparo dos Filmes Comestíveis Erro!** Indicador não definido.
- 4.2.7.2 Caracterização dos filmes..... Erro!** Indicador não definido.
- 4.2.7.2.1. Análises Físico-Químicas Erro!** Indicador não definido.
- 4.2.7.2.1.1. Atividade de água (Aw), umidade e cinzas Erro!** Indicador não definido.
- 4.2.7.2.1.2. Solubilidade em água..... Erro!** Indicador não definido.
- 4.2.7.2.1.3. Acidez Titulável (AT) Erro!** Indicador não definido.
- 4.2.7.3. Análise de Minerais Erro!** Indicador não definido.
- 4.2.7.3.1. Preparo da amostra e Análise dos minerais Erro!** Indicador não definido.
- 4.2.7.4 Análise dos Compostos fenólicos e antioxidantes Erro!** Indicador não definido.
- 4.2.7.4.1 Preparo do Extrato dos filmes para Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante..... Erro!** Indicador não definido.
- 4.2.7.4.1.1 Análises dos Composto Fenólicos Totais..... Erro!** Indicador não definido.

4.2.7.4.1.2	Atividade antioxidante pelo Radical Livre ABTS*+ .	Erro! Indicador não definido.
4.2.7.4.1.3	Capacidade Antioxidante pela Reação com o Radical Livre DPPH	Erro! Indicador não definido.
4.2.7.4.4	Capacidade Antioxidante pela Reação de Redução do Ferro (FRAP)	Erro! Indicador não definido.
4.2.8.	Espessura e Gramatura	Erro! Indicador não definido.
4.2.9.	Análises das Propriedades Mecânicas	Erro! Indicador não definido.
4.2.9.1.	Teste de Perfuração	Erro! Indicador não definido.
4.2.9.2.	Teste de Tração	Erro! Indicador não definido.
4.2.10.	Propriedades ópticas	Erro! Indicador não definido.
4.2.11.	Atividade Antimicrobiana	Erro! Indicador não definido.
4.2.11.1.	Disco de difusão	Erro! Indicador não definido.
4.2.11.2.	Preparo dos microrganismos	Erro! Indicador não definido.
4.2.11.3.	Inoculação e Preparação das Placas	Erro! Indicador não definido.
4.2.11.4.	Preparação dos Discos de Papel Filtro	Erro! Indicador não definido.
4.2.11.5.	Concentração Inibitória Mínima (CIM)	Erro! Indicador não definido.
4.2.12.	Propriedade térmica	Erro! Indicador não definido.
4.2.12.1.	Termogravimetria (TGA)	Erro! Indicador não definido.
5	ANÁLISE ESTATÍSTICA	Erro! Indicador não definido.
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	Erro! Indicador não definido.
6.1.	Caracterização da farinha da casca de banana	Erro! Indicador não definido.
6.1.1	Análise Físico-Química	Erro! Indicador não definido.
6.1.1.1	Umidade, Cinzas e Atividade de água (AW)	Erro! Indicador não definido.
6.1.1.2	Análise de minerais	Erro! Indicador não definido.
6.1.2.1	Compostos Fenólicos	Erro! Indicador não definido.
6.1.2.2.	Atividade Antioxidante	Erro! Indicador não definido.
6.2.	Caracterização do Extrato de <i>Eriobotrya japonica</i>	Erro! Indicador não definido.
6.2.1	Análise Físico-química do Extrato	Erro! Indicador não definido.
6.2.2	Análise de minerais	Erro! Indicador não definido.
6.2.3	Compostos Fenólicos	Erro! Indicador não definido.
6.2.4	Atividades Antioxidante	98

6.2.5 Atividade Antimicrobiana	Erro! Indicador não definido.
6.2.6 Concentração Inibitória Mínima	Erro! Indicador não definido.
6.2.7. Disco de Difusão em Ágar	Erro! Indicador não definido.
6.3 Caracterização dos Filmes Comestíveis	Erro! Indicador não definido.
6.3.1 Análise físico-química	Erro! Indicador não definido.
6.3.1.1 Umidade e cinzas.	Erro! Indicador não definido.
6.3.1.2 pH e acidez titulável	Erro! Indicador não definido.
6.3.1.3 Atividade de Água (Aw) e solubilidade	Erro! Indicador não definido.
6.3.1.4 Análise de Minerais	Erro! Indicador não definido.
6.3.1.5 Compostos Fenólicos totais e Atividade Antioxidante	Erro! Indicador não definido.
	definido.
6.3.1.6 Espessura e Gramatura	Erro! Indicador não definido.
6.3.1.7 Análise das propriedades mecânicas	Erro! Indicador não definido.
6.3.1.8 Análise das propriedades ópticas	Erro! Indicador não definido.
6.3.1.8.1 Cor	Erro! Indicador não definido.
6.3.1.9 Atividade Antimicrobiana	Erro! Indicador não definido.
6.3.1.9.1 Disco de Difusão e Concentração inibitória mínima (CIM)	Erro! Indicador
	não definido.
6.3.1.10 Propriedades Térmicas	Erro! Indicador não definido.
6.3.1.10.1 Termogravimetria (TGA)	Erro! Indicador não definido.
7. CONCLUSÃO	Erro! Indicador não definido.
8 PERSPECTIVAS FUTURAS	Erro! Indicador não definido.
9 REFERÊNCIAS	Erro! Indicador não definido.

1 INTRODUÇÃO

A crescente geração de resíduos agroindustriais e os impactos ambientais decorrentes de seu descarte inadequado têm impulsionado a busca por estratégias sustentáveis e inovadoras para o aproveitamento desses subprodutos. No Brasil, a banana destaca-se como uma das frutas mais produzidas e consumidas, gerando uma quantidade significativa de resíduos, principalmente cascas, que representam cerca de 40% do peso total do fruto. As cascas de banana, frequentemente descartadas, são ricas em compostos bioativos, antioxidantes, minerais e fibras, o que as torna uma matéria-prima promissora para a formulação de novos materiais e produtos funcionais (BEZERRA et al., 2012a; DOS SANTOS et al., 2020a; OURO-SALIM; GUARNIERI; FANHO, 2024a; RATU et al., 2023b).

Além disso, a *Eriobotrya japonica* Lindl., conhecida como nespereira, é amplamente reconhecida por suas propriedades bioativas, atribuídas à elevada concentração de compostos fenólicos em suas folhas, que apresentam atividades antioxidantes e antimicrobianas (Gómez-Aguilar et al., 2022). Essas características ampliam o interesse no uso de seus extratos em tecnologias inovadoras, como embalagens ativas e biodegradáveis (COSTA et al., 2022a; MEDEIROS SILVA et al., 2020a; VIEIRA et al., 2018b).

O desenvolvimento de filmes comestíveis e biodegradáveis apresenta-se como uma alternativa sustentável para o reaproveitamento de resíduos agroalimentares, contribuindo para a redução do impacto ambiental e a promoção da economia circular. Esses filmes não apenas substituem plásticos sintéticos, mas também agregam valor ao prolongar a vida útil de alimentos por meio de propriedades bioativas (MARQUES et al., 2022; OURO-SALIM; GUARNIERI; FANHO, 2024b; SILVA, 2020).

A pesquisa se destaca ao reutilizar cascas de banana, ricas em compostos bioativos, e extratos de *Eriobotrya japonica* no desenvolvimento desses materiais. Além de oferecer benefícios ambientais e tecnológicos, a iniciativa alinha-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, promovendo a inovação e um modelo replicável para aplicações futuras.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Desenvolver filmes comestíveis à base de farinha de casca de banana madura e amido de milho, incorporados com diferentes concentrações de extratos de folhas

de *Eriobotrya japonica* e verificar suas características de qualidade, incluindo propriedades técnicas, mecânicas, funcionais e físico-químicas.

2.2 Objetivos específicos

2.2 Objetivos específicos

- I. Avaliar as propriedades físico-químicas, mecânicas e térmicas dos filmes desenvolvidos, visando caracterizar suas características estruturais e ativas.
- II. Determinar a atividade antioxidante *in vitro* do extrato de *Eriobotrya japonica*, da farinha de casca de banana e dos filmes elaborados, com foco no potencial bioativo.
- III. Identificar e quantificar os compostos fenólicos presentes no extrato, na farinha e nos filmes, considerando sua relevância para a bioatividade.
- IV. Analisar e quantificar os minerais presentes no extrato, na farinha e nos filmes, avaliando sua composição mineral.
- V. Avaliar as propriedades antimicrobianas do extrato e dos filmes, determinando sua eficácia contra microrganismos patogênicos.

3 REVISÃO LITERATURA

3.1. Produção global de alimentos: Desperdício alimentar, fome e valorização de subprodutos

A produção global de alimentos, embora suficiente para atender às necessidades nutricionais de toda a população mundial, apresenta disparidades alarmantes. Atualmente, cerca de 1,9 bilhão de pessoas, ou 24% da população global, vivem em insegurança alimentar, sem acesso regular a alimentos adequados e seguros (FAO, 2023). Paradoxalmente, um terço da produção mundial de alimentos – aproximadamente 1,3 bilhão de toneladas por ano – é desperdiçado, gerando impactos ambientais, sociais e econômicos severos (Parfitt, Croker, & Brockhaus, 2021; Hamish Forbes et al., 2024).

Esse desperdício alimentar é responsável pela perda significativa de recursos naturais como água, energia e solo, contribuindo para a degradação ambiental e intensificando os efeitos das mudanças climáticas. Além disso, a fome persiste como um dos maiores desafios globais, afetando mais de 800 milhões de pessoas (Carlsen, 2023; FAO, 2023). A coexistência de abundância e privação evidencia um paradoxo que exige intervenções urgentes.

Nos países desenvolvidos, o desperdício concentra-se nos níveis de consumo, sendo associado ao descarte inadequado e ao excesso de compras. Já nos países em desenvolvimento, as perdas predominam nas etapas de produção, colheita e armazenamento, devido às limitações estruturais e deficiências logísticas (Durán-Sandoval, Durán-Romero, & Uleri, 2023). Esse padrão reflete desigualdades econômicas e estruturais, além de fragilidades nos sistemas de produção e distribuição alimentar.

Tabela 1- Estimativas de desperdício alimentar dos agregados familiares (com base em pontos de dados quantificados ou extrapolações) dos dois países mais populosos de cada continente.

Continentes	País	Kg Per Capta (ano)	Toneladas (ano)	Nível de Confiança
América do Norte	Canadá	79	938 321	Alta
	Estados Unidos da América	59	19 359 951	Alta
América do Sul	Brasil	60	12.578.308	Média
	Argentina	72	3.243.563	Muito baixa
Ásia	China	64	91.646.213	Média
	Índia	50	68.760.163	Média
Europa	Alemanha	75	6 263 775	Média
	França	85	576 036	Média
África	Nigéria	189	37 941 470	Média
	Etiópia	92	10 327 236	Média
Oceania	Austrália	102	2.563.110	Alta
	Papua-Nova Guiné	85	862.123	Baixa

Fonte: Índice de Desperdício Alimentar - Relatório 2021. Adaptada de Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA).

No Brasil, o desperdício alimentar é um problema crítico, com impactos diretos no meio ambiente e na segurança alimentar. Estima-se que o país desperdice cerca de 27 milhões de toneladas de alimentos por ano, volume suficiente para atender milhões de pessoas em situação de insegurança alimentar grave (Skaf et al., 2021). Além disso, perdas durante o transporte e armazenamento são agravadas por deficiências de infraestrutura e gestão logística, intensificando o desperdício (Hamish Forbes et al., 2024).

Esse cenário é acompanhado por impactos ambientais significativos. O desperdício de alimentos no Brasil contribui para a erosão do solo, a emissão de gases de efeito estufa – particularmente metano, proveniente de aterros sanitários inadequados – e a intensificação das mudanças climáticas (Skaf et al., 2021). Durante a pandemia de COVID-19, o aumento nos preços de alimentos essenciais, como frutas e hortaliças, reduziu ainda mais o consumo desses itens, agravando a insegurança alimentar em diversas regiões do país (Hamish Forbes et al., 2024).

Para mitigar esse quadro, a valorização de subprodutos alimentares surge como uma estratégia essencial. A transformação de resíduos em insumos ou novos alimentos, a modernização das cadeias de transporte e armazenamento e a educação da população quanto ao manejo adequado de alimentos são medidas prioritárias (Hamish Forbes et al., 2024). Programas de redistribuição de alimentos excedentes e incentivos à compostagem também podem reduzir as perdas e minimizar os impactos socioeconômicos e ambientais.

Além disso, a adoção de tecnologias avançadas, como sensores para controle de temperatura em transporte e armazenamento, pode melhorar a eficiência ao longo da cadeia produtiva. Estudos mostram que ações coordenadas entre setores público e privado são cruciais para criar sistemas alimentares mais resilientes, capazes de reduzir o desperdício e ampliar o acesso à alimentação (Skaf et al., 2021).

O Brasil, como uma das maiores potências agrícolas do mundo, enfrenta o paradoxo de ser um grande produtor e, ao mesmo tempo, registrar altos índices de insegurança alimentar. A implementação de políticas públicas voltadas para a redução

do desperdício alimentar, aliada a estratégias sustentáveis de valorização de subprodutos, é essencial para superar esse desafio. Essas ações podem garantir maior equidade na distribuição de alimentos, minimizar danos ambientais e promover sistemas alimentares mais justos e sustentáveis (Ruviaro et al., 2020).

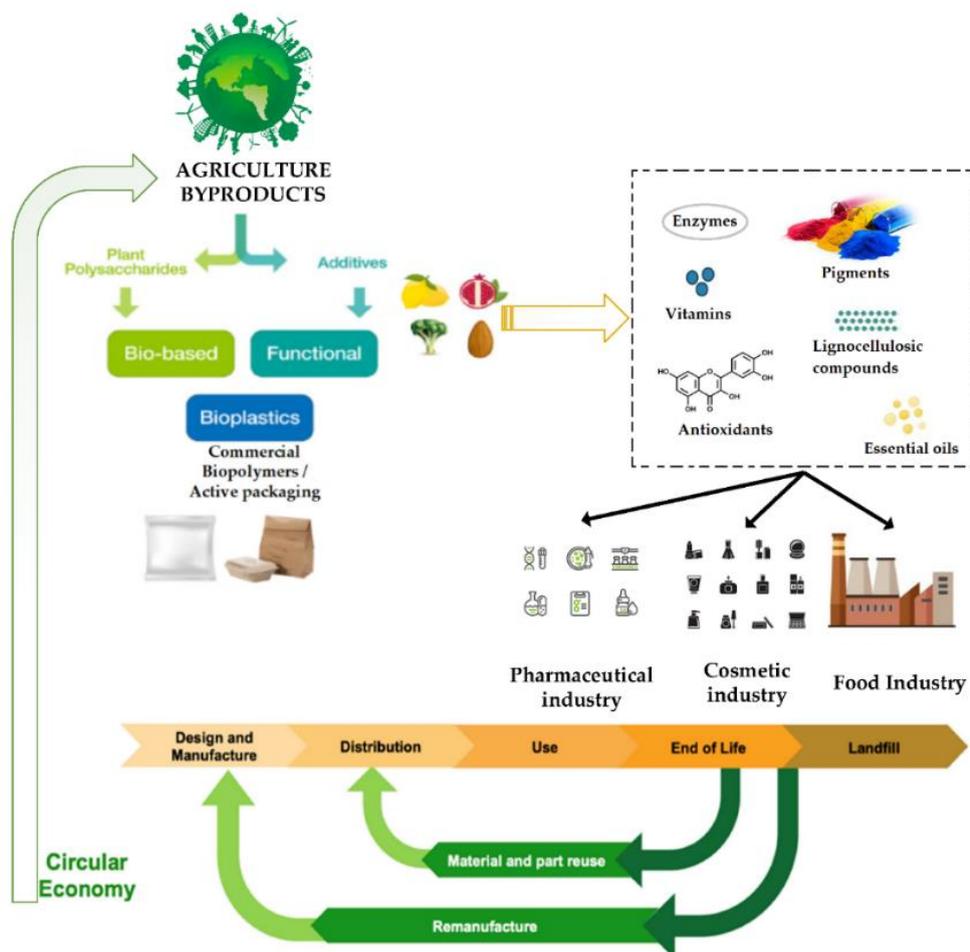
3.2. Resíduos agroalimentares e resíduos alimentares: definição e classificação

Os resíduos agroalimentares e alimentares estão relacionados ao desperdício gerado ao longo do ciclo de vida dos alimentos, mas diferem em origem e escopo. Resíduos agroalimentares são gerados nas etapas iniciais da cadeia produtiva, como colheita, processamento e transporte. Exemplos incluem cascas, bagaços, polpas e sementes, materiais ricos em nutrientes e compostos bioativos com elevado potencial de reaproveitamento em ração animal, fertilizantes, ingredientes alimentares e embalagens sustentáveis. A valorização desses resíduos promove eficiência no uso de recursos, reduz a pegada ambiental e alinha os processos produtivos aos princípios da economia circular (Carvalho, 2024a; Regina Storck et al., 2013; (PÉREZ-MARROQUÍN et al., 2023).

Já os resíduos alimentares correspondem aos alimentos descartados em etapas finais, como varejo, serviços de alimentação e consumo doméstico. Esses descartes ocorrem por vencimento, danos, sobras ou inadequação ao consumo, resultando em perdas de recursos naturais e impactos ambientais, como emissões de gases poluentes em aterros sanitários. A incorporação de práticas como compostagem, biodigestão e reaproveitamento em novos produtos pode mitigar esses efeitos e fomentar sistemas alimentares mais sustentáveis (Carvalho, 2024b; Ouro-Salim; Guarnieri; Fanho, 2024).

Além disso, subprodutos agroindustriais, como bagaços e farelos gerados durante o processamento, possuem amplo potencial de reaproveitamento, sendo utilizados na produção de alimentos funcionais, rações animais e fertilizantes. Essa valorização reduz a geração de resíduos sólidos, maximiza o aproveitamento de recursos naturais e contribui para um sistema produtivo mais sustentável e alinhado às demandas da economia circular (Nascimento Filho & Franco, 2015; Zago & Barros, 2019).

Figura 1. Utilização de subprodutos agrícolas na indústria farmacêutica, cosmética e de alimentos.



Fonte: RAȚU, R. N. et al. Application of Agri-Food By-Products in the Food Industry. Agriculture (Switzerland), Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 2023.

Embora os benefícios ambientais e econômicos dessas práticas sejam evidentes, desafios permanecem. Barreiras como a aceitação dos consumidores e a necessidade de regulamentações adequadas limitam a adoção em larga escala. Superar esses obstáculos é crucial para consolidar um modelo de gestão de resíduos eficiente e transformar o setor agroalimentar em um sistema mais resiliente e ambientalmente responsável (Valle; Guarnieri; Filippi, 2023).

3.2.1. Importância do aproveitamento de resíduos de cascas de frutos

O aproveitamento de resíduos, especialmente das cascas de frutos como a banana, é uma estratégia essencial para mitigar o desperdício de alimentos, promover a sustentabilidade e enfrentar desafios ambientais globais. A banana, um dos frutos mais consumidos no mundo, gera grandes volumes de resíduos na forma de cascas que, apesar de descartadas, possuem elevado valor nutricional e funcional. A casca de banana pode ser transformada em subprodutos valiosos, como ingredientes para alimentos funcionais, compostagem, ração animal e biomateriais, contribuindo para a redução do desperdício e a agregação de valor econômico aos materiais descartados (Arquellau, 2018; Silva et al., 2020b).

O reaproveitamento desses resíduos está alinhado aos princípios da economia circular, promovendo ciclos produtivos mais sustentáveis. Esse modelo reduz a pressão sobre aterros sanitários e mitiga impactos ambientais, como a emissão de gases de efeito estufa provenientes da decomposição inadequada de resíduos orgânicos, que contribuem significativamente para as mudanças climáticas (Carvalho, 2024b; Gómez-García et al., 2021). Estratégias como a valorização de subprodutos agroalimentares e a utilização de tecnologias inovadoras na indústria alimentícia reforçam o potencial das cascas de banana como matéria-prima para produtos sustentáveis, ao mesmo tempo que ampliam a eficiência no uso de recursos (Zago & Barros, 2019).

Além de benefícios ambientais, a reutilização de resíduos de cascas de banana apresenta impactos sociais e econômicos relevantes. A conversão de resíduos em energia, compostos bioativos e novos produtos alimentares podem gerar empregos, promover a inclusão social e reduzir custos associados à destinação final de resíduos. Esses avanços contribuem para a construção de sistemas alimentares resilientes, saudáveis e de baixo impacto, atendendo às demandas globais por práticas mais responsáveis (Abrelpe, 2020; Ouro-Salim; Guarnieri; Fanho, 2024b).

O descarte inadequado de resíduos alimentares, incluindo cascas de frutos, representa uma perda significativa de recursos e agrava problemas ambientais, como a contaminação do solo e a poluição hídrica. A gestão eficiente desses resíduos, dentro da abordagem dos 3Rs – reduzir, reutilizar e reciclar – permite minimizar

perdas, prolongar a vida útil de recursos e otimizar sua utilização. Essa prática, além de preservar o meio ambiente, reforça a importância do reaproveitamento integral dos alimentos como uma solução indispensável para os desafios de segurança alimentar e sustentabilidade (Hamish Forbes et al., 2021).

Portanto, o reaproveitamento de resíduos de cascas de banana e outros frutos não apenas mitiga o desperdício, mas também promove inovação, sustentabilidade e desenvolvimento econômico, transformando desafios em oportunidades. A valorização desses resíduos reforça a viabilidade de um setor agroalimentar mais sustentável, ambientalmente responsável e socialmente inclusivo, consolidando sua relevância para um futuro mais equilibrado (GALALI; OMAR; SAJADI, 2020; OURO-SALIM; GUARNIERI; FANHO, 2024a; RAȚU et al., 2023b).

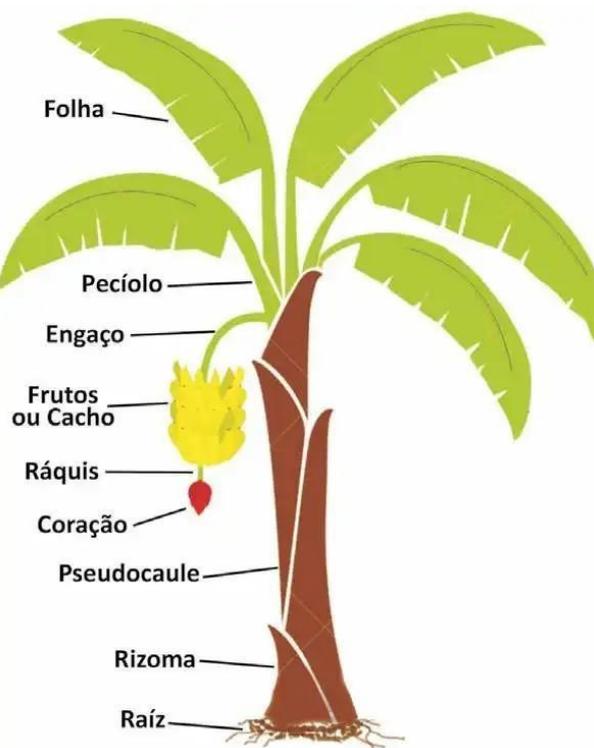
3.3. Banana

3.3.1. A bananeira e seu fruto

A bananeira apresenta uma morfologia complexa (Figura 2), composta por cacho, engaço, ráquis e frutos, denominados "dedos", que se originam do ovário ínfero da flor (SILVA et al., 2020b). Trata-se de uma planta herbácea perene, com pseudocaule formado pelas bainhas foliares, cuja altura pode variar entre 2 e 9 metros, conforme a cultivar e as condições ambientais. O caule verdadeiro, conhecido como rizoma, é subterrâneo e exerce a função de armazenamento de nutrientes. Além disso, a emissão de brotos laterais, chamados "filhos", assegura a regeneração contínua do bananal (CAI et al., 2023).

A área foliar desempenha um papel fundamental na fotossíntese e produtividade da bananeira, sendo um importante indicador de saúde da planta. O número de folhas funcionais no florescimento tem forte impacto sobre o peso dos cachos, ressaltando a necessidade de práticas agronômicas adequadas para otimizar o rendimento da cultura (TORRES-BAZURTO; MAGNITSKIY; SÁNCHEZ, 2019; YONGXI, 2013). O fruto, com formato alongado e levemente curvo, (Figura 3 a e b), é tecnicamente classificado como uma baga carnosa trilocular, contendo pequenas sementes rudimentares.

Figura 2. Anatomia da bananeira



Fonte: Nomura, E. (2020).

Dependendo da cultivar e das condições climáticas, pode atingir até 50 cm de comprimento e 10 cm de diâmetro (PBMH & PIF,2006).

Figura 3 - a e b: Morfologia da banana



Fonte:(PBMH & PIF, 2006)

A banana, especialmente a variedade prata (*Musa spp.*), destaca-se por sua importância nutricional, econômica e cultural no Brasil. Reconhecida por sua polpa macia e sabor adocicado com notas ligeiramente ácidas, a banana prata apresenta coloração creme a rósea pálida, características que a tornam amplamente apreciada pelos consumidores brasileiros. Introduzida no país pelos portugueses, essa variedade é predominantemente cultivada no Nordeste, com um ciclo produtivo de aproximadamente 411 dias, do plantio à colheita (Pereira & Maraschin, 2015a).

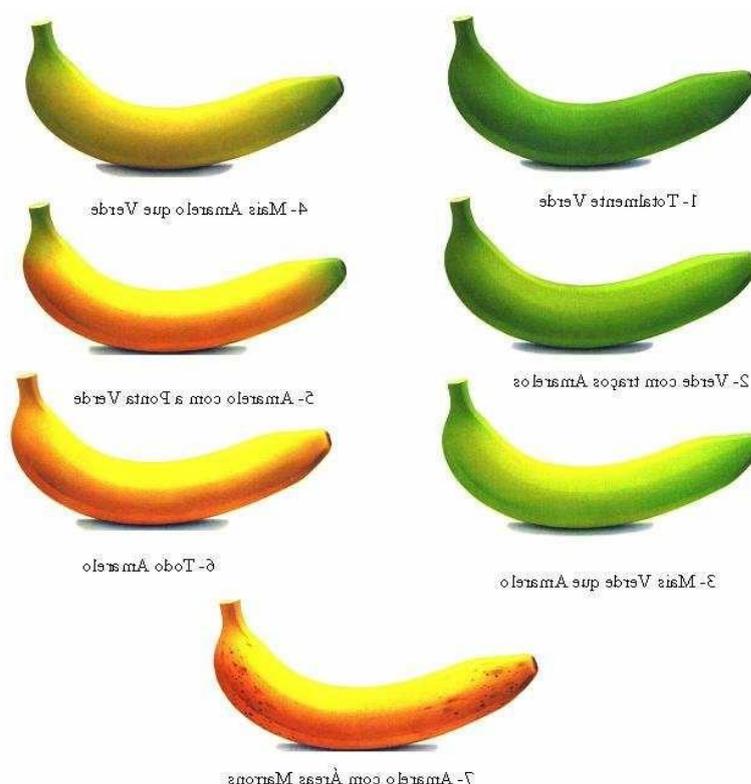
Durante o amadurecimento, a polpa passa por um processo de conversão de amido em açúcares simples, como frutose, glicose e sacarose, o que confere maior doçura à fruta madura. Os frutos, organizados em cachos, variam em tamanho entre 7 e 30 cm, dependendo da cultivar (Bezerra et al., 2012). Além de ser amplamente consumida in natura, a banana prata é valorizada pela composição nutricional rica em carboidratos, fibras, vitaminas C e B6 e minerais como potássio, magnésio e cálcio, nutrientes essenciais para o equilíbrio eletrolítico, saúde óssea e fortalecimento da imunidade (Ekesa et al., 2015).

Embora a polpa seja a parte mais consumida, subprodutos como a casca ainda são amplamente descartados, tanto em escala doméstica quanto industrial, gerando impacto ambiental significativo. Esse resíduo, muitas vezes negligenciado, possui propriedades nutricionais e funcionais valiosas que poderiam ser mais bem aproveitadas em uma abordagem sustentável e circular. Rica em fibras, vitaminas, minerais e compostos bioativos, a casca apresenta potencial para aplicações na formulação de alimentos funcionais, cosméticos, biomateriais e fertilizantes, promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis e a redução do desperdício alimentar (VALLE; GUARNIERI; FILIPPI, 2023a; Marques et al., 2022).

Durante o amadurecimento da banana, a casca passa por mudanças marcantes, como a variação de cor, que reflete a degradação de clorofilas e a formação de compostos secundários. Esse processo pode ser dividido em sete estágios, que vão do verde intenso (estágio 1) até o amarelo com manchas marrons (estágio 7). Nos primeiros estágios (1 a 3), a banana é considerada verde, com consistência firme, sabor adstringente e alto teor de amido, o que a torna menos adequada para o consumo in natura (SILVA, 2020). Ao longo do amadurecimento, o amido é progressivamente hidrolisado, elevando a concentração de açúcares e reduzindo o teor de amido na fruta madura (MOTA; LAJOLO; CORDENUNSI, 1997).

Essas alterações influenciam tanto as características sensoriais quanto as propriedades funcionais da casca, tornando-a um material de grande interesse para estudos relacionados à conservação pós-colheita e reutilização industrial. Essa transição, conforme demonstrado na Figura 4, ocorre de acordo com a escala de cor de Von Loesecke, que vai do verde intenso ao amarelo com manchas marrons (AURORE; PARFAIT; FAHRASMANE, 2009).

Figura 4. Escala de maturação de Von Loesecke



Fonte: PBMH & PIF - Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura & Produção Integrada de Frutas, 2006.

Apesar da versatilidade da banana no preparo de diversos produtos alimentícios, como sobremesas, farinhas, geleias e sucos, a maioria das aplicações utiliza apenas a polpa, resultando no descarte massivo da casca

3.3.2. O uso sustentável da casca de banana: Potencial funcional econômico

A casca de banana, frequentemente descartada ou subutilizada, é um resíduo com elevado potencial funcional e econômico. Para cada tonelada de bananas colhidas, cerca de 440 kg de cascas são gerados, representando uma oportunidade significativa para práticas sustentáveis que mitiguem os impactos ambientais associados à produção agrícola (DOMINGUES LIMA et al., 2021; SILVA et al., 2020a). Rica em fibras alimentares, vitaminas, minerais (como ferro, cálcio e magnésio) e compostos bioativos, como carotenoides, polifenóis e fitoesteróis, a casca apresenta propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, tornando-se atrativa para aplicações nas indústrias alimentícia, cosmética e médica (PEREIRA; MARASCHIN, 2015a; BHAVANI et al., 2023).

Sua composição pode variar conforme fatores como estágio de maturação, tipo de solo e condições climáticas, o que influencia diretamente os níveis de nutrientes e compostos bioativos presentes. Essa variabilidade reforça a importância de padronizar sua utilização em diferentes aplicações (ALCANTARA; CASTILHO; CLEMENTE, 2014; HAPPI EMAGA et al., 2008).

No campo médico, a casca de banana é tradicionalmente usada em compressas para aliviar dores e reduzir inchaços devido ao seu efeito antimicrobiano. Pesquisas recentes demonstraram o desenvolvimento de membranas bioativas combinando pó de casca de banana madura com quitosana, que mostraram eficácia robusta contra bactérias Gram-positivas, consolidando seu potencial para curativos. Além disso, a casca tem sido explorada em formulações fitoterápicas para tratar lesões cutâneas, acne e picadas de insetos, destacando-se como recurso natural para produtos medicinais (KAMEL; ABD EL-MESSIEH; SALEH, 2017; PEREIRA; MARASCHIN, 2015b).

Além das aplicações médicas, a casca de banana e outros resíduos da bananeira têm se mostrado versáteis em diferentes setores. Na biotecnologia, são utilizados como biomassa em biorrefinarias para produção de biocombustíveis. Na indústria alimentícia, a casca é incorporada em farinhas ricas em fibras e compostos bioativos. Já no desenvolvimento de filmes biodegradáveis, esses resíduos são empregados para aumentar a vida útil de alimentos perecíveis, reduzindo a

dependência de plásticos e contribuindo para a sustentabilidade ambiental (ARQUELAU, 2018; SILVA, 2020).

Diante do exposto, a otimização do uso sustentável dos resíduos da bananeira destaca-se como uma estratégia relevante para promover a economia circular e reduzir desperdícios, além de agregar valor à cadeia produtiva com impactos econômicos e sociais positivos. Estudos apontam o uso medicinal da casca de banana, especialmente devido às suas propriedades antimicrobianas, como em compressas para alívio de dores e redução de inchaços (PEREIRA; MARASCHIN, 2015b). Além disso, pesquisas como a de SALEH, (2017) evidenciam o potencial do pó de casca de banana madura combinado com quitosana na formulação de membranas eficazes contra bactérias Gram-positivas. No entanto, há uma lacuna na literatura quanto à avaliação específica da Concentração Inibitória Mínima (CIM) da casca de banana e sua aplicação em diferentes contextos, incluindo o uso da fruta madura, o que reforça a importância de aprofundar o conhecimento sobre suas propriedades bioativas.

Esse amplo potencial funcional destaca a importância da integração dos resíduos da bananeira em processos industriais. O reaproveitamento da casca e outros subprodutos promove a economia circular, reduzindo desperdícios e agregando valor à cadeia produtiva. Essa estratégia não apenas diminui impactos ambientais, mas também fomenta soluções sustentáveis com benefícios econômicos e sociais, consolidando um modelo de produção mais eficiente.

3.4. *Eriobotrya japonica*: morfologia, cultivo e aplicações

3.4.1. Características estruturais, fitoterápicas e econômicas da nespereira

A *Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl., comumente chamada de nespereira ou ameixa-amarela, pertence à família Rosaceae e é nativa da China. A espécie é amplamente cultivada em regiões subtropicais e temperadas ao redor do mundo, como Japão, Índia, Brasil e países do Mediterrâneo (LIU et al., 2016a).

A nespereira é uma árvore de folhagem perene, cujas folhas são continuamente renovadas, mantendo uma aparência sempre verde. Ela varia de pequeno a médio porte, com altura entre 3 e 10 metros, dependendo das condições climáticas e do

manejo agrônômico. Sua copa é densa e arredondada, com ramificações vigorosas (KOBA et al., 2007).

Os frutos da *Eriobotrya japonica* (Figura 5), comumente conhecidos como nêspera ou ameixa-amarela, destacam-se tanto pelo consumo in natura quanto por sua ampla utilização em formas processadas, como geleias, compotas e xaropes (KHOUYA et al., 2022b). Além de sua relevância nutricional e econômica, a planta possui um histórico de uso milenar na medicina tradicional chinesa, sendo empregada no tratamento de condições como diabetes, tosse, bronquite, inflamações e até mesmo câncer, graças às suas propriedades bioativas (LIU et al., 2016a; NG et al., 2020).

O fruto da nespereira é uma drupa de formato arredondado ou elipsoidal, com diâmetro variando entre 2,5 e 5 cm. Sua casca é fina, com tonalidades que vão do amarelo ao alaranjado, enquanto a polpa, succulenta e doce, apresenta coloração que varia de branca a alaranjada. Internamente, o fruto abriga de uma a cinco sementes grandes e ovais, que correspondem a cerca de 10 a 20% do peso total do fruto (PBMH & PIF - PROGRAMA BRASILEIRO PARA A MODERNIZAÇÃO DA HORTICULTURA & PRODUÇÃO INTEGRADA DE FRUTAS, 2006).

Figura 5. Folhas e frutos da nespereira



Fonte: Própria autora

As folhas da *Eriobotrya japonica* são simples, alternas e apresentam formato elíptico a alongada com bordas serrilhadas. Variam entre 10 e 25 cm de comprimento,

com uma superfície superior coriácea e brilhante, enquanto a face inferior é densamente coberta de pelos. A coloração das folhas pode variar de verde-escuro a verde-claro, e a densa camada de tricomas na parte inferior desempenha um papel essencial na proteção contra desidratação e no controle da temperatura foliar (ZHANG et al., 2021b).

As flores da nespereira são hermafroditas, perfumadas e organizam-se em inflorescências do tipo panícula, com coloração que varia entre o branco e o creme. Apresentam um diâmetro médio de 1,5 a 2 cm e são, predominantemente, formadas durante o outono e inverno, dependendo da região.

A *Eriobotrya japonica* apresenta grande versatilidade, tanto no uso medicinal quanto na indústria alimentícia, sendo uma candidata promissora para o desenvolvimento de produtos funcionais e conservantes naturais. Suas propriedades bioativas contribuem não apenas para a melhoria da qualidade e durabilidade dos alimentos, mas também oferecem benefícios à saúde humana, agregando valor aos produtos alimentícios e farmacêuticos (ZHANG et al., 2021b).

3.4.2. Composição e propriedades funcionais

A *Eriobotrya japonica*, ou nespereira, é amplamente reconhecida por seu valor nutricional, terapêutico e tecnológico, destacando-se como uma fonte rica em compostos bioativos, como flavonoides, carotenoides, ácidos fenólicos e triterpenos. Esses compostos conferem propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas, com aplicações tanto na preservação de alimentos quanto na promoção da saúde humana (IBRAHIM, 2021; KOBA et al., 2007b). Estudos têm demonstrado a eficácia de extratos das folhas em tecnologias alimentares, como filmes comestíveis antioxidantes, que prolongam a vida útil de alimentos, e na substituição de aditivos sintéticos, oferecendo alternativas mais seguras e sustentáveis (DELFANIAN; KENARI; SAHARI, 2015; SILVA et al., 2020c).

Além de aplicações alimentares, os compostos bioativos da nespereira têm sido associados a benefícios significativos à saúde, como o controle de diabetes, obesidade e inflamações, além de potenciais efeitos neuroprotetores e na preservação da densidade mineral óssea (CHA; EUN; JEON, 2011; KIM et al., 2011). Tecnologias emergentes, como encapsulação e nanoemulsões, têm ampliado a estabilidade e a bioacessibilidade desses compostos, potencializando seu uso como

conservantes naturais e agentes promotores de saúde em escala industrial (JIA; DUMONT; ORSAT, 2016).

O aproveitamento de subprodutos agrícolas, como folhas e cascas da nespereira, contribui para a sustentabilidade ambiental e para o desenvolvimento de embalagens alimentares comestíveis e funcionais. Tais inovações atendem às demandas por soluções seguras, sustentáveis e eficientes, reforçando o papel da *Eriobotrya japonica* na interface entre saúde pública, ciência alimentar e conservação ambiental (GEORGANAS et al., 2020; IBRAHIM, 2021).

A *Eriobotrya japonica* emerge como uma planta versátil, com aplicações que vão da promoção da saúde à conservação de alimentos e sustentabilidade ambiental, consolidando-se como um recurso estratégico para inovação tecnológica e científica.

3.4.3. Atividade antimicrobiana

A pesquisa sobre a atividade antimicrobiana tem desempenhado um papel crucial no avanço da ciência, especialmente no combate a doenças infecciosas e na preservação de alimentos. Desde a descoberta da penicilina por Alexander Fleming, em 1928, que marcou o início da era dos antibióticos, a aplicação de agentes antimicrobianos passou a ter ampla relevância tanto na medicina quanto na indústria de alimentos (DAVIDSON; TAYLOR; DAVID, 2020; KURĆUBIĆ et al., 2023; NG et al., 2020). Ao longo do século XX, conservantes sintéticos foram amplamente utilizados no setor alimentício devido à sua eficácia no controle microbiano e na extensão da vida útil dos produtos (KURĆUBIĆ et al., 2023; NG et al., 2020; OULAHAL; DEGRAEVE, 2022). No entanto, preocupações crescentes quanto aos possíveis impactos negativos desses conservantes sobre a saúde humana e o meio ambiente, aliadas ao aumento da resistência antimicrobiana, fomentaram o desenvolvimento de alternativas mais sustentáveis, como compostos bioativos de origem natural (ZHOU; CAO; PENG, 2022).

Nos últimos anos, a pesquisa sobre antimicrobianos evoluiu significativamente, com ênfase na identificação de novas substâncias que possam combater microrganismos patogênicos, em resposta ao avanço da resistência bacteriana. Bactérias multirresistentes, como o *Staphylococcus aureus* resistente à meticilina (MRSA) e bactérias gram-negativas produtoras de carbapenemases, emergiram como uma séria ameaça à saúde pública global, devido à dificuldade no tratamento das infecções que causam e às altas taxas de mortalidade associadas (MASTERSON et al., 2021). Esses desafios, presentes tanto na medicina quanto na segurança

alimentar, destacam a necessidade urgente de novas estratégias antimicrobianas (IQBAL et al., 2022).

Entre as fontes mais promissoras de novos compostos antimicrobianos encontram-se os extratos vegetais e de algas marinhas, que apresentam propriedades antimicrobianas robustas contra bactérias multirresistentes (ALVES et al., 2020; SURENDRHIRAN et al., 2021). Tais compostos, incluindo polifenóis e flavonoides, demonstram ser alternativas eficazes e sustentáveis aos conservantes sintéticos, por apresentarem menor propensão a induzir resistência bacteriana. Na indústria alimentícia, essas substâncias têm mostrado potencial significativo na inibição do crescimento microbiano e na prevenção da formação de biofilmes, com impacto positivo na segurança alimentar (OULAHAL; DEGRAEVE, 2022).

Ademais, o uso de compostos naturais derivados de plantas e algas na formulação de filmes comestíveis oferece uma solução inovadora para a preservação de alimentos, proporcionando maior segurança e prolongando sua vida útil sem comprometer suas características sensoriais (CABRAL et al., 2021). Esses filmes, enriquecidos com agentes antimicrobianos naturais, também atendem à crescente demanda por soluções sustentáveis e ambientalmente responsáveis na produção de embalagens biodegradáveis, alinhando-se às tendências globais de sustentabilidade na indústria alimentícia (SILVA et al., 2020c).

Assim, a integração entre a atividade antimicrobiana conferida por compostos naturais e o uso de embalagens biodegradáveis representa um avanço substancial para a indústria alimentícia, oferecendo uma estratégia eficaz para enfrentar os desafios contemporâneos relacionados à segurança alimentar e sustentabilidade ambiental.

3.5. Filmes comestíveis

3.5.1. Definição e aplicação

Filmes comestíveis são estruturas finas, biodegradáveis e muitas vezes invisíveis, aplicadas diretamente sobre alimentos ou como revestimentos funcionais, com o objetivo de proteger os produtos contra contaminação microbiana e regular trocas gasosas e de umidade (FALGUERA et al., 2011; SILVA, 2020; XIE et al., 2023). Além de aderirem adequadamente aos alimentos, esses filmes não devem interferir nas características sensoriais, como sabor, aroma e textura, garantindo a integridade dos produtos durante o armazenamento e o manuseio (ASSIS; BRITTO, 2014; ŠEREMET et al., 2022; SILVA et al., 2022a). Uma característica notável dessa

tecnologia reside no fato de os filmes comestíveis serem concebidos para consumo simultâneo com o alimento, representando, assim, uma solução sustentável e inovadora para a indústria alimentícia. Esses filmes são fabricados previamente por meio da técnica de "casting", na qual a solução filmogênica é distribuída sobre uma superfície até sua completa secagem, resultando em uma membrana com espessura variando entre 50 e 250 μm . Tal membrana pode ser aplicada diretamente sobre os alimentos ou empregada em formas como sachês ou sacos, conferindo versatilidade ao produto (PASCALL; PASCALL, 2012).

Essa tecnologia emergente tem ganhado crescente atenção devido à sua eficácia na ampliação da vida útil de alimentos perecíveis, podendo eliminar a necessidade de conservantes sintéticos, muitas vezes associados a riscos tanto para a saúde humana quanto para o meio ambiente (XIE et al., 2023). Além disso, a incorporação de extratos vegetais em filmes comestíveis agrega uma dimensão inovadora, uma vez que esses extratos, ricos em compostos bioativos, como polifenóis, flavonoides e terpenos, conferem propriedades antimicrobianas e antioxidantes, promovendo uma proteção adicional contra microrganismos patogênicos e retardando o processo de deterioração dos alimentos (FRANCO; VÁZQUEZ, 2020; HAMANN et al., 2021; JORGE et al., 2023; SILVA, 2020).

No estudo realizado por (MEDEIROS Silva et al., (20230cb), a aplicação de filmes comestíveis à base de farinha de casca de banana e extrato de nespereira sobre queijos interfolhados demonstrou vantagens notáveis ao minimizar a perda de peso e reduzir a acidez do produto. Contudo, foi observado que a formulação contendo extrato de nespereira resultou em uma coloração amarelada mais intensa nos queijos, o que pode impactar negativamente a aceitação sensorial pelos consumidores. Quanto à durabilidade, os filmes apresentaram um desempenho equivalente ao de embalagens comerciais, destacando seu potencial para substituir materiais sintéticos, com a vantagem de serem biodegradáveis e ambientalmente sustentáveis (MEDEIROS SILVA et al., 2020cb3). Adicionalmente, os filmes comestíveis, além de sua eficácia em prolongar a vida útil e preservar as propriedades nutricionais de alimentos perecíveis, apresentam elevado potencial ambiental. Diferentemente das embalagens plásticas convencionais, que podem levar séculos para se decompor, os filmes comestíveis se degradam rapidamente, contribuindo de forma significativa para a redução de resíduos sólidos e atendendo à crescente demanda por soluções mais ecológicas e seguras (PEDREIRO et al., 2021).

Estudos recentes (BENBETTAÏEB; KARBOWIAK; DEBEAUFORT, 2019; HAMED; JAKOBSEN; LERFALL, 2022; XIE; LIU; ZHANG, 2024) indicam que o desenvolvimento contínuo de filmes comestíveis, com a inclusão de novos compostos bioativos, será fundamental para que essa tecnologia substitua eficazmente as embalagens tradicionais, promovendo não apenas a segurança alimentar, mas também a sustentabilidade ambiental.

3.5.2. Matérias-primas para filmes comestíveis

Os filmes comestíveis podem ser produzidos a partir de uma ampla gama de matérias-primas naturais, como polissacarídeos, proteínas e lipídios, que desempenham papéis fundamentais na determinação das propriedades finais dos materiais (CAZÓN et al., 2017). Polissacarídeos como amido, pectina e alginato são amplamente utilizados por sua capacidade de formar redes tridimensionais e oferecer excelentes barreiras contra gases, embora apresentem baixa eficiência como barreira ao vapor d'água. O amido, em particular, destaca-se por sua abundância e baixo custo, sendo amplamente aplicado na produção de filmes comestíveis. Suas propriedades, como resistência mecânica e elasticidade, são influenciadas pela proporção entre amilose e amilopectina, e modificações químicas, como a fosfatação, podem melhorar significativamente sua durabilidade e resistência térmica (GUTIÉRREZ et al., 2015).

Lipídios, incluindo ceras e óleos vegetais, são frequentemente adicionados para aumentar a resistência à umidade, enquanto proteínas como caseína, zeína e colágeno conferem maior resistência mecânica e barreira contra oxigênio, características importantes para a conservação de alimentos (JEYA JEEVAHAN et al., 2020a). Além disso, compostos bioativos presentes nas matérias-primas, como flavonoides e ácidos fenólicos, adicionam propriedades antioxidantes e antimicrobianas, tornando os filmes comestíveis uma alternativa eficaz e sustentável para a preservação de alimentos (ESPITIA et al., 2014; LU et al., 2020).

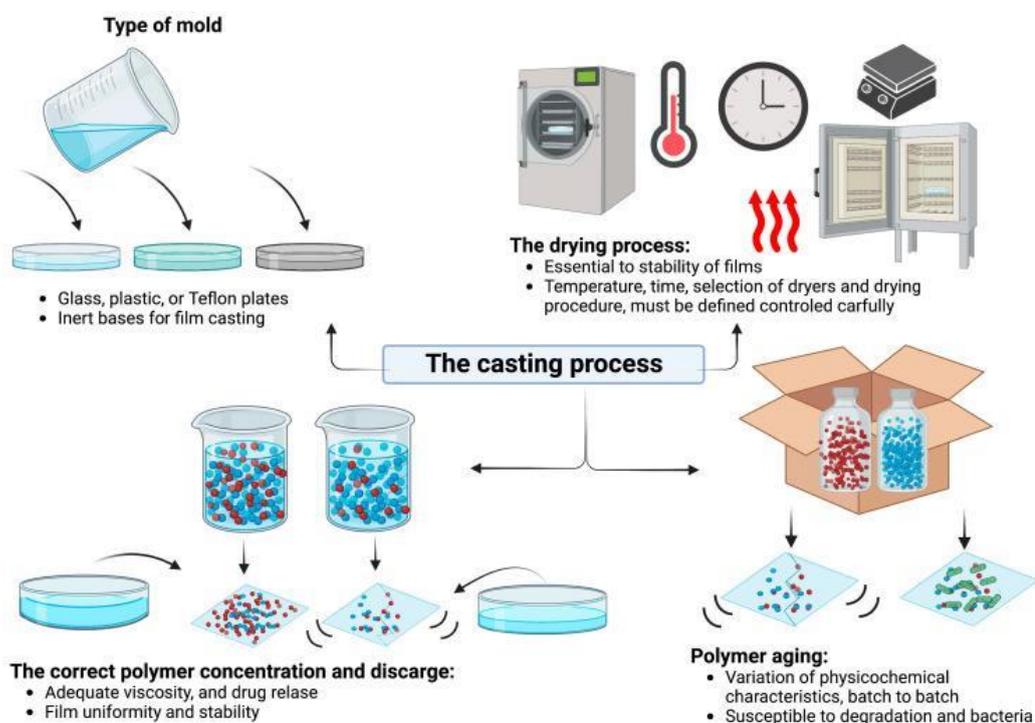
3.5.3 Processo de Elaboração de Filmes Poliméricos

A produção de filmes poliméricos geralmente começa com a seleção de um polímero base, que atua como a matriz estrutural, e de um plastificante, que confere flexibilidade e maleabilidade ao material (BORBOLLA-JIMÉNEZ et al., 2023). O método mais comumente utilizado é o casting, no qual a solução de polímero e

plastificante é preparada e espalhada sobre uma superfície lisa, como placas de vidro ou silicone. O solvente, que pode ser água, etanol ou acetona, é então evaporado em condições controladas de temperatura e umidade, permitindo o alinhamento das cadeias poliméricas e formando a estrutura sólida do filme (ANTÓNIO, 2020) figura 6

Durante esse processo, as moléculas de plastificante se intercalam entre as cadeias do polímero, ajustando as propriedades mecânicas e de barreira do material final (BORBOLLA-JIMÉNEZ et al., 2023b). Esse método tem ampla aplicação devido à sua simplicidade e eficiência, sendo amplamente empregado na produção de filmes para aplicações alimentares, farmacêuticas e industriais. A personalização dos filmes pode incluir melhorias em resistência mecânica, redução da permeabilidade a gases e incorporação de compostos bioativos que promovem a conservação e a segurança dos alimentos embalados (JEYA JEEVAHAN et al., 2020b).

Figura 6. Representação de elaboração de filmes para cicatrização de feridas através da técnica Casting por solvente.



Fonte: Borbolla-Jiménez, F., Peña-Corona, S., & Leyva-Gómez, G. (2023). Films for wound healing fabricated using a solvent casting technique. *Pharmaceutics*, 15(7), 1914.

Filmes poliméricos biodegradáveis têm se consolidado como uma solução inovadora e sustentável, com aplicações diversificadas nas indústrias alimentícia, farmacêutica e de cuidados com a saúde. No campo médico, esses materiais são amplamente utilizados no desenvolvimento de curativos que promovem uma cicatrização mais eficiente, criando um ambiente protegido e ideal para a regeneração tecidual (Borbollá-Jiménez et al., 2023b). Na indústria alimentícia, destacam-se como embalagens biodegradáveis, desempenhando um papel crucial na preservação da qualidade e no aumento da vida útil dos alimentos. Sua versatilidade tecnológica também permite aplicações em liberação controlada de ativos cosméticos, revestimentos agrícolas e engenharia de tecidos, evidenciando sua ampla aplicabilidade.

Filmes biodegradáveis produzidos a partir de farinha de casca de banana prata e amido de milho, com a adição de glicerol, apresentam propriedades estruturais e funcionais bem caracterizadas. O amido de milho atua como polímero base, proporcionando a matriz estrutural do filme, enquanto a farinha de casca de banana, rica em polissacarídeos, contribui para a melhoria da biodegradabilidade e adiciona propriedades específicas ao material. O glicerol, por sua vez, desempenha a função de plastificante essencial, reduzindo as interações intermoleculares entre as cadeias poliméricas e conferindo maior flexibilidade ao filme. Durante o processo de fabricação, a água utilizada como solvente dissolve os polímeros e facilita a gelatinização do amido, enquanto a etapa de secagem promove a evaporação da água, permitindo a formação de uma matriz polimérica contínua e homogênea.

O desenvolvimento de embalagens comestíveis e biodegradáveis surge como uma alternativa viável e sustentável às embalagens convencionais, que, derivadas majoritariamente de plásticos de combustíveis fósseis, apresentam impacto ambiental significativo devido à decomposição lenta (Seligra et al., 2016). Nesse contexto, a escolha dos componentes da formulação, aliada à otimização das propriedades mecânicas e de barreira, desempenha um papel essencial.

Estudos demonstram que o glicerol é particularmente eficiente na redução da fragilidade da matriz polimérica, resultando em filmes mais flexíveis e estáveis (Bergo, Sobral e Prison, 2010). No entanto, concentrações elevadas desse plastificante, embora aumentem a extensibilidade dos filmes, podem comprometer propriedades

como resistência à tração e módulo elástico, devido à interferência na organização molecular das cadeias poliméricas.

Portanto, o equilíbrio entre flexibilidade, resistência mecânica e propriedades de barreira é fundamental para o desenvolvimento de filmes poliméricos biodegradáveis de alta eficiência. Essa abordagem estratégica permite atender às demandas das indústrias alimentícia, farmacêutica e de saúde, promovendo um futuro mais sustentável por meio de soluções tecnológicas alinhadas à preservação ambiental.

Figura 7. Percepção das embalagens sustentáveis



Fonte: VALLE; GUARNIERI; FILIPPI (2023a).

A inclusão de lipídeos, como ceras e óleos vegetais, melhora a resistência à umidade, enquanto compostos bioativos, como antioxidantes e antimicrobianos, ampliam a funcionalidade dos filmes, protegendo os alimentos contra fatores degradantes, como umidade, oxigênio e microrganismos (EL HALAL, 2012; ZHANG et al., 2021). A utilização de resíduos agroindustriais, como a casca de banana, fortalece a economia circular e promove a sustentabilidade ambiental. Rica em fibras e com propriedades filmogênicas, a casca de banana pode ser associada a compostos bioativos, como o extrato de *Eriobotrya japônica*, que possui propriedades

antioxidantes e antimicrobianas, aumentando a funcionalidade dos filmes biodegradáveis. Além de agregar valor à subprodutos agrícolas que seriam descartados, essa abordagem contribui para a criação de embalagens ambientalmente responsáveis, alinhadas às demandas globais por soluções ecológicas (ARQUELAU, 2018; COSTA et al., 2022^a; DA SILVA FILIPINI; ROMANI; GUIMARÃES MARTINS, 2020).

Filmes desenvolvidos com farinha de casca de banana e extrato de *Eriobotrya japonica* representam uma alternativa eficiente e de baixo custo para a preservação de alimentos perecíveis, além de reduzir a necessidade de conservantes sintéticos. Essa inovação sustentável atende às exigências dos consumidores por produtos mais saudáveis e ambientalmente responsáveis (KONG; DEGRAEVE; PUI, 2022). Apesar do potencial, avanços tecnológicos ainda são necessários para superar desafios relacionados às propriedades mecânicas e à competitividade frente às embalagens convencionais. A adição de nanocelulose e lipídeos tem se mostrado promissora para melhorar a resistência, flexibilidade e funcionalidade desses filmes, sem comprometer sua biodegradabilidade (HASAN et al., 2020). Assim, filmes biodegradáveis se posicionam como uma solução estratégica que integra eficiência.

3.5.4 Eficiência dos filmes comestíveis na preservação e extensão da vida útil de alimentos.

A eficiência dos filmes comestíveis na preservação e extensão da vida útil de alimentos como frutas, hortaliças e queijos reside na sua capacidade de atuar como barreiras eficazes contra fatores degradantes, como umidade, oxigênio, luz e microrganismos. Esses filmes criam uma camada protetora que retarda a oxidação e o crescimento microbiano, fatores críticos na deterioração de alimentos perecíveis (SALAZAR et al., 2021). A adição de compostos bioativos, como antioxidantes e antimicrobianos em sua formulação eleva ainda mais seu desempenho, prolongando a qualidade sensorial e nutricional dos alimentos, o que os torna uma solução promissora para a indústria alimentícia (ABDOLLAHZADEH; NEMATOLLAHI; HOSSEINI, 2021).

Nesse contexto, o desenvolvimento de filmes comestíveis a partir de fontes renováveis, como a casca de banana, ganha relevância, uma vez que combina eficiência na preservação dos alimentos com sustentabilidade ambiental.(SALAZAR et al., 2021) .A casca de banana, um resíduo agroindustrial abundante e rico em fibras,

apresenta propriedades filmogênicas promissoras, que podem ser potencializadas com a adição de compostos bioativos, como o extrato de *Eriobotrya japonica*, conhecido por suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas (ARQUELAU et al., 2019a; MEDEIROS SILVA et al., 2020ca; SILVA et al., 2022b). O uso de resíduos como a casca de banana não só agrega valor a subprodutos agrícolas, como também contribui para a economia circular, reforçando a importância de soluções biodegradáveis para a redução do impacto ambiental (SILVA, 2020).

A pesquisa proposta, focada na elaboração de filmes biodegradáveis a partir de farinha de casca de banana e extrato de *Eriobotrya japonica*, insere-se diretamente neste cenário, oferecendo uma alternativa viável e de baixo custo para a preservação de alimentos perecíveis. Ao utilizar ingredientes naturais e subprodutos agrícolas, o projeto promove a inovação sustentável, atendendo à demanda crescente por soluções ecologicamente corretas na indústria de embalagens. Além disso, ao explorar as propriedades protetoras e sensoriais dos filmes, o estudo contribui significativamente para a redução do uso de conservantes sintéticos, elevando a segurança alimentar e atendendo às exigências dos consumidores por produtos mais saudáveis e sustentáveis (KONG; DEGRAEVE; PUI, 2022).

A produção de filmes comestíveis a partir de resíduos agroindustriais, apresenta um grande potencial para o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis e sustentáveis, alinhadas às demandas ambientais atuais (HASAN et al., 2020b; KONG; DEGRAEVE; PUI, 2022b; UMARAW; VERMA, 2017). No entanto, apesar das promissoras vantagens ambientais e econômicas, ainda há a necessidade de mais pesquisas que explorem a capacidade desses filmes de estender a vida útil dos alimentos de maneira eficaz assim como explorar novas formas de incorporação de compostos bioativos, como antioxidantes e antimicrobianos (ASSIS; BRITTO, 2014; NIDHI PRAMOD AGARWAL** & MITU SAINI*; NIDHI AGARWAL** & MITU SAINI*, 2016). Essas pesquisas são fundamentais para garantir que, além de reduzir a pegada ecológica, os filmes comestíveis possam competir com embalagens convencionais em termos de eficiência na preservação dos alimentos, contribuindo assim para a segurança alimentar e para a sustentabilidade global.

4. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida predominantemente nos Laboratórios de Operações, Processos e Tecnologia (SOPT) do Departamento de Alimentos (ALM) da Faculdade

de Farmácia (FAFAR) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Além disso, outros laboratórios foram utilizados para análises específicas, incluindo o Laboratório de Bromatologia - Unidade de Pesquisa em Química de Alimentos (BRO UPQA) e o Laboratório de Microbiologia de Alimentos, ambos também localizados na FAFAR. Foram ainda empregados o Laboratório de Química Analítica e Forense (LaQaFor) Departamento de Química, no Instituto de Ciências Exatas, e o laboratório de Taxonomia, Biodiversidade e Biotecnologia de Fungos do Instituto de Ciências Biológicas (ICB), ambos pertencentes à UFMG.

4.1. Material

4.1.1. Equipamentos

Aagitador de Tubos (Vórtex Phoenix Modelo AP56)

Aagitador de Tubos (Vórtex Nova Instruments Modelo NI 1036)

Balança analítica (Shimadzu modelo AY220)

Balança analítica (Shimadzu modelo AUY220)

Balança analítica (Bel Engineering modelo M214Ai)

Balança analítica (Shimadzu modelo BL3200H)

Centrífuga digital (Anco CD6000)

Espectrofotômetro (KASVI modelo K3-UVVIS)

Espectrômetro de fluorescência de raios X por reflexão total, S2 PICOFOX (Bruker, Alemanha)

Estufa para determinação de umidade (Fanem, 320 – SE)

Estufa com circulação de ar forçada (Biopar S480AD)

Incubadora Shaker de bancada com aquecimento (Labinfarma Scientific modelo LIF650E)

Liquidificador (ARNO, Modelo L.S)

Millipore Direct-Q® 3 UV Water Purification System, ZRQSVP300

Peneira tamis (Bertel Industria Metalúrgica Ltda., 16 mesh)

Peneira tamis (Bertel Industria Metalúrgica Ltda., 60 mesh)

Peneira tamis (Bertel Industria Metalúrgica Ltda., 150 mesh)

Pipeta monocanal autoclavável (Digipet 5-50 µL)

Pipeta monocanal autoclavável (Digipet 10-100 µL)

Pipeta monocanal autoclavável (Digipet 20-200 µL)

Pipeta monocanal autoclavável (Larmate Pro 1-10 mL)

Pipeta monocanal autoclavável (MDI 100-1000 µL)
Pipeta monocanal autoclavável (Peguepet 20-200 µL)
Pipeta monocanal autoclavável (Transferpette 100-1000 µL)
pHmêtro de bancada com calibração automática (Instrutherm modelo PH-5000)
Sistema de osmose reversa (Permutation modelo RO 0310)
Waters acquity uplc
Waters corporation, milford, ma aqualab Lite 2T, da Decagon Devices Inc. (Pullman, EUA).

4.1.2. Reagentes

2,2-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH) (Sigma Aldrich®)
2,4,6-Tris(2-Pyridyl) -S-Triazine (TPTZ) (Sigma Aldrich®)
Acetato de sódio Anidro PA (CRQ Química)
Acetona PA (Êxodo Científica)
Acetona pura pa (vetec, brasil)
Acetonitrila HPLC (Dinâmica)
Ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico) - (ABTS) (Sigma Aldrich®)
Ácido acético glacial PA (Synth)
Ácido clorídrico (Neon)
Ácido clorídrico (Synth)
Ácido gálico monohidratado P.A (Neon)
Ácido fórmico 98%-100% -
Álcool etílico (Sciavicco)
Álcool etílico (Êxodo Científica)
Álcool etílico (Dinâmica)
Carvão ativo granulado (Brascarbo)
Ciclo Hexano (Synth)
Cloreto de Ferro Hexahidratado (Êxodo Científica)
Cloreto de ferro III (ICO) P.A (Êxodo Científica)
Detergente alcalino (Sigma-Aldrich, EUA),
Ferric Reducing Antioxidant Power (Sigma Aldrich®)
Folin Cioauteau (Sigma Aldrich®)
Metanol HPLC (Êxodo Científica)
Metanol PA (Vetec)

solução de silicone em isopropanol (Serva, Alemanha).

Sulfato de ferro (oso) 7H₂O P.A (Química Moderna)

solução de silicone em isopropanol (Serva, Alemanha).

Sulfato de ferro (oso) 7H₂O P.A (Química Moderna).

4.1.3. Amido de Milho

O amido de milho (Maizena®, Unilever Brasil Industrial Ltda., Garanhuns) foi adquirido em mercado de Belo Horizonte no mês de março de 2023 com lote número G7G e data de validade até 06/06/25. Os demais reagentes, de grau analítico, estão elencados no item 4.1.2.

4.1.4. Folhas de *Eriobotrya japonica*

As folhas de *Eriobotrya japonica* foram coletadas de quatro indivíduos arbóreos localizados no Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, durante os meses de junho e julho de 2023. As coordenadas do local de coleta foram registradas como 19° 51' 52.308" S e 43° 57' 43.369" W. A identificação taxonômica da espécie foi confirmada e arquivada no herbário do Instituto de Ciências Biológicas da UFMG, sob o número de acesso 192122.

No Laboratório de Operações, Processos e Tecnologia (SOPT) da Faculdade de Farmácia da UFMG, as folhas foram homogeneizadas em um único lote, totalizando 295 g, e submetidas à lavagem em água corrente. Posteriormente, foram dispostas em tabuleiros para desidratação em estufa com circulação de ar mecânica modelo (Fanem, 320-SE, São Paulo), a 40°C por 48 horas. Após a desidratação, o material foi acondicionado em sacos plásticos hermeticamente selados, protegido da luz e armazenado em freezer a -18°C, garantindo a preservação dos compostos bioativos para a elaboração do extrato e análises subsequentes.

4.1.5. Bananas

Os frutos utilizados neste estudo foram adquiridos entre janeiro e março de 2023, totalizando 12 kg, dos quais 4,7 kg corresponderam às cascas. A aquisição foi realizada em um comércio de hortifrutigranjeiros situado na região da Pampulha, em Belo Horizonte, Minas Gerais. As bananas (*Musa acuminata* x *Musa balbisiana*, grupo AAB, subgrupo Prata, cv. Prata) encontravam-se no estágio de maturação 7,

caracterizado por cascas amarelas com manchas marrons, conforme a escala cromática de Von Loesecke (Mota, Lajolo & Cordenunsi, 1997). Foram selecionados frutos inteiros que apresentavam pequenas avarias, como amassados ou desprendimentos do cacho, tornando-os inadequados para comercialização ao consumidor final, mas com qualidade preservada para o estudo. Após a aquisição, as bananas foram transportadas imediatamente em sacos de papel pardo para o Laboratório de Operações, Processos e Tecnologia (SOPT) da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), onde foram processadas para as análises subsequentes.

4.2. MÉTODOS

4.2.1. Obtenção da farinha de casca de banana

No Laboratório de Operações, Processos e Tecnologia (SOPT) da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), as bananas foram submetidas a um processo de higienização utilizando uma solução de hipoclorito de sódio preparada com 10 litros de água e 80 mL de hipoclorito a 2,5% de cloro ativo, resultando em uma concentração final de 200 mg·L⁻¹. A higienização foi realizada durante 10 minutos, seguindo as orientações da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2004). Após o procedimento, os frutos foram descascados, com a polpa destinada à doação e as cascas reservadas para processamento.

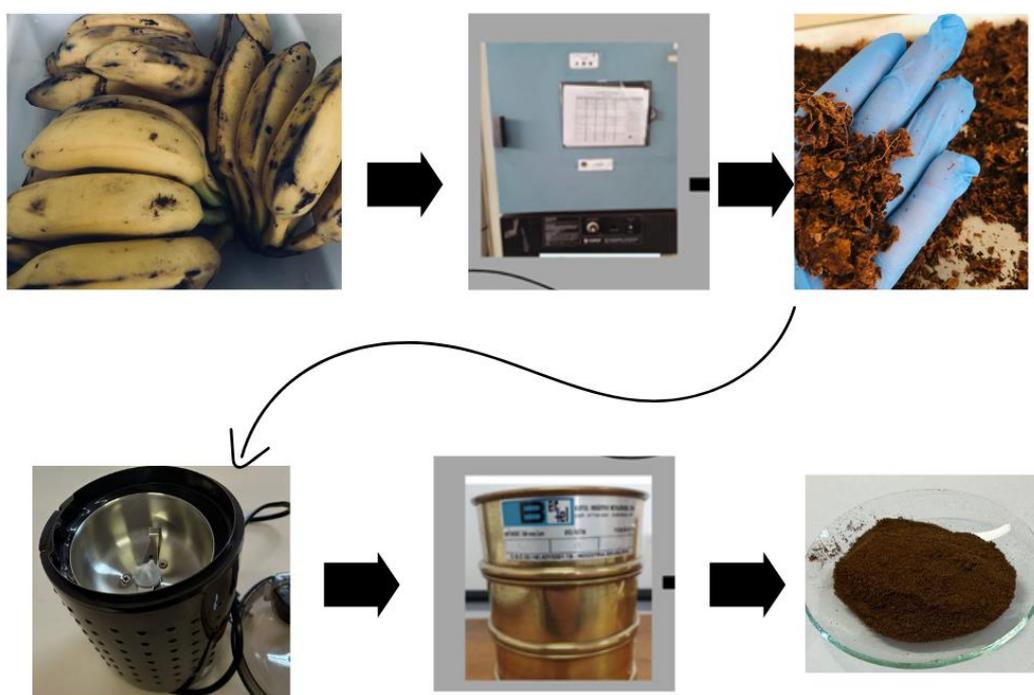
Para prevenir o escurecimento enzimático, as cascas foram imediatamente imersas em uma solução de ácido cítrico a 0,5% (p/v) e permaneceram nessa condição até o início do processamento. Este método de higienização é amplamente recomendado devido à sua eficácia na redução de microrganismos, conforme descrito na revisão de Beuchat (1998), que destaca o uso do hipoclorito de sódio como uma estratégia eficaz para a descontaminação superficial de frutas e vegetais.

Para prevenir o escurecimento enzimático, as cascas foram imediatamente imersas em 5 litros de solução de ácido cítrico a 0,5% (p/v) e mantidas nesta condição até o início do processamento. Em seguida, as cascas foram trituradas em porções no liquidificador (Siemens, LS-04, Brusque, SC) juntamente com 300 mL de solução de ácido cítrico, resultando em um purê homogêneo. Este purê foi submetido à peneiração utilizando uma peneira doméstica de plástico para a remoção do excesso de líquido e, posteriormente, distribuído em bandejas de aço inoxidável.

O processo de desidratação foi realizado em estufa com circulação de ar mecânica (Fanem, 320-SE, Brasil) a 60°C por 24 horas, convertendo o purê em uma camada sólida fina. O material desidratado foi então submetido a uma moagem inicial em moinho de facas (Tecnal, TE 340), seguida de uma moagem adicional em moedor doméstico, visando à redução do tamanho das partículas. Por fim, o material resultante foi peneirado em malha de 60 mesh, assegurando a padronização granulométrica do produto.

As amostras de farinha de casca de banana foram acondicionadas em sacos autosselantes fotoprotetores e armazenadas no freezer a -18°C. Após a produção de toda a quantidade necessária de farinha para o estudo, os lotes foram homogeneizados, resultando em uma amostra representativa única de farinha de casca de banana madura, conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8. Fluxo do Preparo da farinha da casca de Banana



Fonte: Própria autora

4.2.2. Caracterização da farinha de casca de banana

4.2.2.1. Análise físico-química

A avaliação dos parâmetros físico-químicos, como umidade, teor de cinzas e atividade de água, desempenha um papel crucial na caracterização de farinhas, especialmente as obtidas a partir de resíduos de frutas. Esses parâmetros têm impacto direto na estabilidade, qualidade e viabilidade de aplicação industrial desses produtos.

As análises de umidade e cinzas das amostras de farinha de casca de banana foram realizadas em triplicata no Laboratório de Bromatologia da Unidade de Pesquisa em Química de Alimentos da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Já as análises de minerais foram conduzidas no Laboratório de Química Analítica e Forense (LaQaFor), vinculado ao Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas da mesma instituição. A determinação da atividade de água (A_w) foi feita por leitura direta utilizando o AquaLab Lite 2T, da Decagon Devices Inc. (Pullman, EUA), operando a 25°C. Para calibração do equipamento, empregaram-se água destilada e solução saturada de cloreto de lítio ($A_w 0,112 \pm 0,003$). As amostras de farinha foram colocadas em cápsulas plásticas próprias do equipamento, e as análises foram realizadas em triplicata.

4.2.2.1.1. Umidade

A quantificação da umidade foi a secagem em estufa, seguindo o método gravimétrico de secagem direta, conforme as diretrizes estabelecidas pela AOAC INTERNATIONAL, (2023b). Cerca de 5,0 g de amostra foram pesadas em cápsulas de porcelana previamente taradas, garantindo a precisão na pesagem inicial. As amostras foram colocadas em uma estufa ventilada (Fanem, 320-SE, São Paulo) e mantidas a 105 ± 1 °C até atingir peso constante. Para assegurar esse processo, as pesagens foram realizadas em intervalos de 60 minutos, até não se observar mais variação significativa no peso.

Após cada ciclo de secagem, as amostras foram resfriadas em um dessecador por 30 minutos para evitar a reabsorção de umidade antes da pesagem final. O teor de umidade foi calculado pela diferença entre o peso inicial e o peso seco das amostras, conforme Equação 1.

$$(\%) = \frac{\text{Peso inicial da amostra} - \text{Peso da amostra seca}}{\text{Peso inicial da amostra}} \times 100$$

Eq. 1

Os procedimentos foram realizados em triplicata para garantir a precisão e a reprodutibilidade dos resultados, assegurando a confiabilidade na caracterização dos materiais.

4.2.2.1.2. Cinzas

A determinação do teor de cinzas foi realizada conforme os padrões estabelecidos pela (AOAC INTERNATIONAL, (2023b)). As amostras foram pesadas em cadinhos de porcelana previamente tarados, utilizando uma balança analítica (SHIMADZU), assegurando a precisão necessária para o cálculo do teor de cinzas. Em seguida, as amostras passaram por uma incineração preliminar em chama direta, utilizando um bico de Bunsen, sob capela de exaustão, com o objetivo de remover a matéria orgânica volátil e evitar a carbonização irregular. Após essa etapa inicial, os cadinhos contendo as amostras foram transferidos para uma mufla (FORNITEC, 2629, São Paulo), aquecida a 550 °C, onde permaneceram até a completa mineralização do material restando apenas o resíduo inorgânico.

Após a incineração, os cadinhos foram retirados da mufla e resfriados em dessecador para evitar a reabsorção de umidade. Posteriormente, os cadinhos foram pesados novamente. Os teores de cinzas foram determinados em triplicata pela diferença entre o peso inicial e o peso residual após a incineração, utilizando a Equação 2. Os resultados foram expressos em g.100g⁻¹ de amostra.

$$\text{Teor de cinzas (\%)} = \frac{\text{Peso do resíduo inorgânico (cinzas)}}{\text{Peso inicial da amostra}} \times 100$$

Eq. 2

4.2.2.1.3. Atividade de água (Aw)

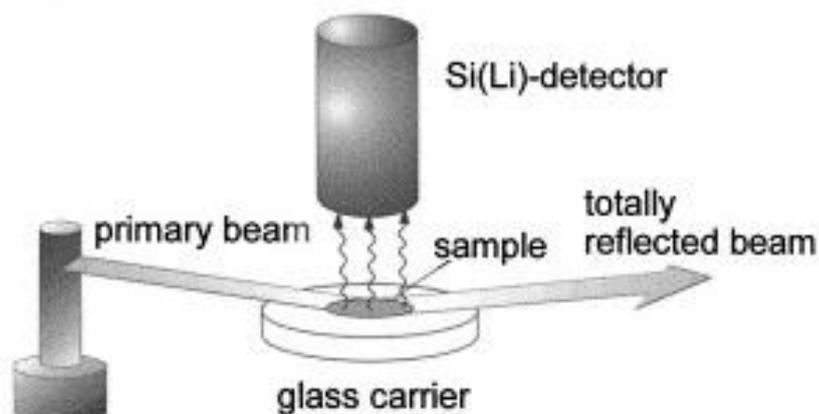
A análise da atividade de água (Aw) foi realizada utilizando o AquaLab Lite 2T, da Decagon Devices Inc. (Pullman, EUA), operando a uma temperatura constante de 24°C. O equipamento foi calibrado cuidadosamente com água destilada (Aw = 1,000) e uma solução saturada de cloreto de lítio (Aw = 0,112 ± 0,003), garantindo a precisão das medições. As amostras de farinha foram colocadas diretamente nas cápsulas plásticas específicas do equipamento, garantindo a uniformidade necessária para as medições, e posteriormente inseridas na câmara de amostra para a obtenção dos

resultados. Cada análise foi realizada em triplicata, buscando garantir a confiabilidade e reprodutibilidade dos dados.

4.2.2.1.4. Análise de minerais

As análises de minerais foram realizadas no Laboratório de Química Analítica e Forense (LaQaFor), do Departamento de Química da UFMG, utilizando a técnica de Fluorescência de Raios-X por Reflexão Total (TXRF) (Figura10), amplamente reconhecida por sua alta sensibilidade e precisão na quantificação simultânea de múltiplos elementos em diferentes matrizes (ESPINOZA-QUIÑONES et al., 2018; SCHOLZE et al., 2006). O princípio da técnica envolve a excitação de átomos por radiação primária, que resulta na emissão de fluorescência de raios-X, característica de cada elemento ao retornar ao estado fundamental. Essa emissão permite identificar e quantificar os elementos presentes na amostra. Entre as principais vantagens do TXRF, destacam-se a exigência de pequenas quantidades de amostra, sua elevada sensibilidade e a capacidade de detectar diversos elementos de forma simultânea, tornando-o ideal para análises multielementares em alimentos e matrizes biológicas complexas. A combinação da técnica com uma preparação rigorosa das amostras garante resultados precisos e confiáveis, posicionando o TXRF como uma metodologia robusta para análises de minerais.

Figura 9. Arranjo geométrico simplificado usado na metodologia TRXF



Fonte: Adaptada de Klockenkämper e Von Bohlen (2001).

Para a análise dos minerais, as amostras foram previamente carbonizadas em bico de bussem e mufla a 550°C e em seguida foram enviadas para o Laboratório de Química Analítica e Forense (LaQaFor) no Instituto de Ciências Exatas da UFMG. Cada amostra, com peso aproximado de 0,3079 g, foi diluída em 1000 µL de ácido nítrico concentrado (HNO₃), seguido da adição de 39 mL de água Milli-Q., garantindo a solubilização completa dos minerais.

Após a digestão ácida e a solubilização dos minerais, foram pipetados 450 µL da solução digerida e adicionados 50 µL do padrão interno de Galio (Ga) a uma concentração de 50 mg L⁻¹. A solução foi aplicada em discos de quartzo de 30 mm de diâmetro e secos em estufa a 80 °C. Posteriormente, as amostras foram analisadas no espectrômetro de fluorescência de raios X por reflexão total, S2 PICOFOX (Bruker, Alemanha). O equipamento contém um tubo de Mo como fonte de excitação, um monocromador multicamada e um detector SDD (Silicon Drift Detector), com um tempo de leitura de 500 segundos por amostra. Este procedimento garantiu a precisão e a sensibilidade necessárias para a quantificação dos elementos sódio (Na), potássio (K), cloro (Cl), magnésio (Mg), manganês (Mn), cobre (Cu), cálcio (Ca), fósforo (P), enxofre (S), ferro (Fe), zinco (Zn), rubídio (Rb) e estrôncio (Sr). Foram utilizados discos de quartzo de 30 mm de diâmetro e uma espessura de 3,0 ± 0,1 mm como porta-amostra. O resultado foi expresso em concentração (mg/100g⁻¹) de alimento.

4.2.2.2. Análises dos compostos fenólicos e potencial antioxidantes

A quantificação dos compostos fenólicos presentes na farinha de casca de banana foi realizada por meio da metodologia espectrofotométrica de Folin-Ciocalteu, amplamente reconhecida para a determinação de fenóis totais em alimentos e amostras vegetais (RUFINO et al., 2010; SINGLETON; ORTHOFER; LAMUELA-RAVENTÓS, 1999).

4.2.2.2.1. Preparo do extrato da farinha da casca de banana

A metodologia para obtenção do extrato da farinha de casca de banana foi baseada em Rufino *et al.*, (2010), com modificações. Inicialmente, foram pesados 1 g de farinha, utilizando-se tubos Falcon de 15 mL, os quais foram cobertos com papel alumínio para proteção contra a luz. Em seguida, 4 mL de metanol a 50% (v/v) foram adicionados para a preparação do extrato. A amostra foi extraída duas vezes sucessivamente, utilizando 4 mL de solução de metanol: água (50:50 v/v) e,

posteriormente, 4 mL de solução de acetona: água (70:30 v/v), ambos os solventes mantidos sob proteção contra a luz com papel alumínio. Entre as extrações, as amostras permaneceram em repouso à temperatura ambiente por 1 hora. Após cada período de repouso, as amostras foram centrifugadas (centrífuga digital Anco CD6000) a aproximadamente $402,48 \times g$ por 15 minutos. Os sobrenadantes de cada extração foram coletados e transferidos para balões volumétricos de 10 mL, também protegidos com papel alumínio, e o volume final foi ajustado com água destilada. Esse procedimento, com proteção constante da luz, garantiu a preservação dos compostos sensíveis à luz durante todo o processo de extração.

4.2.2.2. Análises dos compostos fenólicos totais (CFT).

A quantificação dos compostos fenólicos totais foi realizada em triplicata, utilizando a metodologia espectrofotométrica de Folin-Ciocalteu, conforme descrito por Rufino et al. (2010) e Singleton, Orthofer e Lamuela-Raventós (1999), com algumas modificações. Inicialmente, os extratos da farinha da casca de banana foram submetidos a uma diluição preliminar em água deionizada na proporção de 1:5. Essa etapa foi realizada com o objetivo de garantir a linearidade da resposta do equipamento e evitar que as concentrações dos compostos fenólicos ultrapassassem os limites da curva de calibração, assegurando a precisão das medições.

Após a diluição inicial, necessária para ajustar a concentração dos extratos, foi realizada uma segunda diluição, desta vez para a análise propriamente dita. Alíquotas de 120 μL dos extratos diluídos foram misturadas com 180 μL de acetona a 70% e transferidas para tubos Falcon de 15 mL. Para evitar a degradação dos compostos fenólicos pela ação da luz, os tubos foram protegidos com revestimento de papel alumínio durante todo o procedimento. As soluções utilizadas na análise, exceto o reagente de Folin-Ciocalteu e a solução padrão de ácido gálico, foram preparadas previamente. Tanto o reagente de Folin-Ciocalteu quanto a solução padrão de ácido gálico foram preparados e utilizados no mesmo dia, garantindo a reatividade e a confiabilidade dos resultados obtidos.

Cada tubo contendo os extratos diluídos recebeu 1,5 mL de solução de Folin-Ciocalteu a 10%, diluída em água destilada, e a mistura foi homogeneizada por 5 segundos em um agitador de tubos Agitador de Tubos (Vórtex Nova Instruments

Modelo NI 1036). Em seguida, a mistura foi mantida em repouso à temperatura ambiente por um período de 1 a 8 minutos. Após esse tempo, foi adicionada uma solução de carbonato de sódio a 7,5% (p/v) em um volume de 1,2 mL, seguida de nova homogeneização. As amostras foram mantidas à temperatura ambiente por 30 minutos, protegidas da luz.

A leitura das absorvâncias foi realizada a 760 nm, utilizando uma cubeta de vidro em um espectrofotômetro (KASVI modelo K3-UVVIS), e a solução de acetona a 70% foi usada como branco para calibração. A curva padrão de ácido gálico foi estabelecida utilizando seis concentrações (1,5; 3,0; 4,5; 6,0; 7,5 e 9,0 $\mu\text{g/mL}$), preparadas nas mesmas condições que as amostras, com um coeficiente de determinação (R^2) superior a 0,99.

Os resultados foram expressos em equivalentes de ácido gálico ($\text{mg EAG} \cdot 100\text{g}^{-1}$ de amostra). Todas as análises foram realizadas em triplicata e sob condições de baixa luminosidade, visando garantir a reprodutibilidade e precisão dos resultados.

4.2.2.2.3. Atividade antioxidante pela captura do radical livre ABTS $\bullet+$

A reação com o radical livre ABTS foi realizada de acordo com a metodologia de Rufino et al. (RUFINO et al., 2010), com algumas adaptações. O radical $\text{ABTS}^{\bullet+}$ foi gerado pela reação entre a solução de ABTS (7 mM) e persulfato de potássio (140 mM), permanecendo em repouso por 16 horas no escuro. Após esse período, a solução foi diluída em etanol até que a absorvância atingisse $0,700 \pm 0,050$ a 734 nm. O extrato da farinha da casca de banana foi submetido a uma diluição preliminar em água deionizada na proporção de 1:5. Essa etapa foi realizada com o objetivo de garantir a linearidade da resposta do equipamento e evitar que a alta concentrações de atividade antioxidante ultrapassasse os limites da curva de calibração, assegurando a precisão das medições.

Após a diluição inicial, necessária para ajustar a concentração do extrato, foram realizadas, três diluições em diferentes concentrações, utilizando etanol como solvente. As diluições foram realizadas com volumes de 200 μL , 500 μL e 800 μL de extrato, combinados com 800 μL , 500 μL e 200 μL de etanol, respectivamente. As amostras foram acondicionadas em frascos de 15 mL, protegidos da luz por revestimento de papel alumínio, a fim de preservar a integridade dos compostos

durante o processo. De cada diluição preparada, 30 μL foram transferidos para tubos Falcon revestidos com papel alumínio, e adicionados 3,0 mL da solução de ABTS•+. Após homogeneização, a mistura foi deixada em repouso por 6 minutos, e as absorvâncias foram medidas a 734 nm. A curva analítica foi construída utilizando solução padrão de Trolox (0,5 mg/mL) em concentrações de 100 a 2000 μM . A partir das absorvâncias, foi gerada a curva analítica (concentração em mg/L versus ABS), cuja equação foi utilizada para calcular a concentração equivalente a 1.000 μM de Trolox ($R^2 > 0,99$). Todas as análises foram realizadas em triplicata, com as amostras protegidas da luz e em ambiente com controle de luminosidade.

4.2.2.2.4. Capacidade antioxidante pela reação com o radical livre DPPH

A análise da atividade antioxidante pelo método DPPH foi conduzida de acordo com a metodologia (RUFINO et al., 2010), com adaptações. O extrato da farinha da casca de banana foi submetido a uma diluição preliminar em água deionizada na proporção de 1:5. Essa etapa foi realizada com o objetivo de garantir a linearidade da resposta do equipamento e evitar que as altas concentrações de atividade antioxidante ultrapassasse os limites da curva de calibração, assegurando a precisão das medições.

Após a diluição inicial, necessária para ajustar a concentração do extrato, foi realizada uma segunda diluição, desta vez para a análise propriamente dita. Três volumes diferentes dos extratos (200 μL , 500 μL e 800 μL), em triplicata, foram diluídos em metanol e acondicionados em tubos Falcon de 15 mL, protegidos da luz por revestimento de papel alumínio. A cada tubo foram adicionados 3,9 mL de solução metanólica de DPPH (40 mg. L^{-1}), e as misturas foram homogeneizadas por 5 segundos em um agitador de tubos. As amostras foram incubadas a temperatura ambiente por 4 horas.

A leitura da absorvância foi realizada a 517 nm, utilizando álcool metílico como branco para calibração. As medições foram realizadas após 4 horas, sendo monitoradas a cada 10 minutos até que a absorvância se estabilizasse (tempo EC50). A curva padrão foi obtida a partir de uma solução de DPPH (60 μM), com concentrações variando de 10 a 60 μM , nas mesmas condições das amostras ($R^2 > 0,99$).

A capacidade antioxidante foi expressa como a concentração de antioxidante necessária para reduzir 50% dos radicais livres (EC50), sendo os resultados apresentados em gramas de amostra por grama de DPPH. Todas as análises foram realizadas em triplicata e em ambiente com baixa iluminação para evitar degradação dos compostos sensíveis à luz.

4.2.2.2.5. Capacidade antioxidante pela reação de redução do ferro (FRAP).

A técnica descrita por (RUFINO et al., 2010) foi utilizada para determinar a atividade antioxidante pela reação de redução do ferro (FRAP). Os extratos foram inicialmente diluídos com água deionizada na proporção de 1:5 para assegurar a linearidade do equipamento. Posteriormente, três diluições foram preparadas em tubos Falcon de 15 ml, utilizando volumes de 0,200 µL, 0,500 µL e 0,800 µL de extrato, com água destilada como solvente nas respectivas proporções até o volume final de 1000 µL. A solução do reagente FRAP foi composta por tampão acetato (0,3 M, pH 3,6), solução de TPTZ (10 mM) e cloreto férrico (20 mM), na proporção de 10:1:1. Após a preparação das diluições, foram transferidos 90 µL de cada uma para tubos Falcon cobertos com papel alumínio, aos quais foram adicionados 270 µL de água destilada e 2,7 ml do reagente FRAP. As amostras foram homogeneizadas e mantidas em banho-maria a 37°C por 30 minutos. A absorbância foi medida a 595 nm, utilizando o reagente FRAP como branco.

A solução padrão de sulfato ferroso (2 mM) foi utilizada para a construção da curva analítica, com concentrações variando de 500 a 2000 µM. A equação da reta ($R^2 > 0,99$) permitiu calcular a absorbância equivalente a 1000 µM de sulfato ferroso. A partir das absorbâncias das amostras, foi construída a curva da amostra (concentração x ABS), e a concentração equivalente a 1000 µM de sulfato ferroso foi determinada. Todas as análises foram realizadas em triplicata, com os tubos protegidos da luz por revestimento em papel alumínio, para evitar degradação.

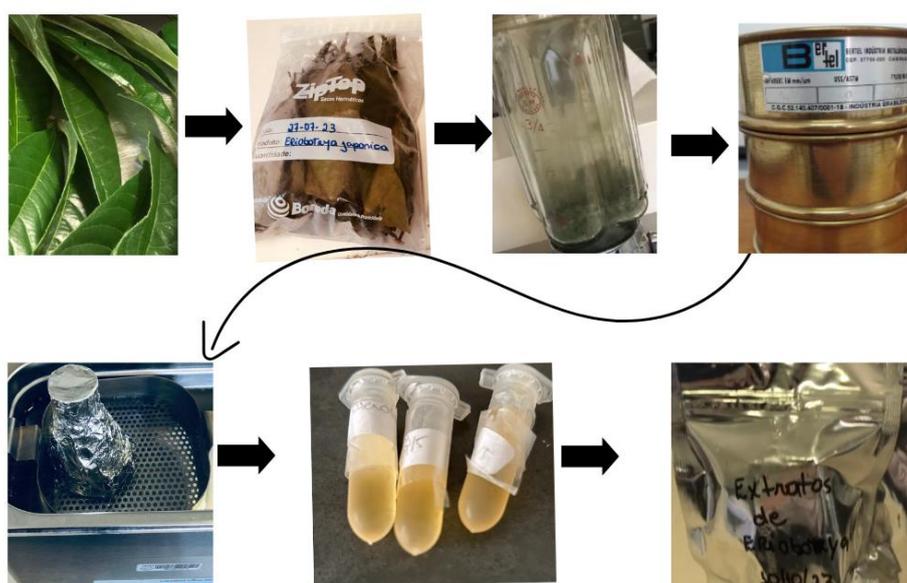
4.2.3. Obtenção do extrato bruto das folhas de nespereira

Após a desidratação, as folhas foram descongeladas, trituradas em um liquidificador e peneiradas em malha de 16 mesh para padronização do tamanho das partículas. A extração dos compostos bioativos seguiu metodologia adaptada de (MEDEIROS SILVA et al., 2020b; OLIVEIRA, 2015; SUN et al., 2002), com modificações figura 10. As folhas trituradas foram pesadas na proporção de 1:10

(folha/solvente), utilizando uma solução de álcool etílico a 50% em água. As amostras foram transferidas para um Erlenmeyer, cobertas com papel alumínio para evitar a evaporação do álcool e a fotodegradação dos compostos.

A extração foi realizada em ultrassom com agitação por 20 minutos, seguida de 10 minutos de repouso e mais 20 minutos de ultrassom com agitação. Em seguida, a mistura foi filtrada em papel de filtro qualitativo, e o filtrado foi coletado em balão volumétrico. Esse processo foi repetido por três vezes para garantir a extração completa dos compostos bioativos. Todas as extrações foram realizadas em triplicata, e o volume final foi ajustado para 50 mL com a solução de álcool etílico a 50% em balões volumétricos para padronização.

Figura 10. Fluxo de preparo do extrato bruto



Fonte: Própria autora

4.2.4. Caracterização do extrato bruto

4.2.4.1. Preparo da amostra

O preparo do extrato bruto das folhas nespereira foi realizado segundo Item 4.2.3., no Laboratórios de Operações, Processos e Tecnologia (SOPT) do Departamento de Alimentos (ALM) da Faculdade de Farmácia (FAFAR), esse preparo foi realizado em

triplicata, visando garantir a reprodutibilidade e a precisão dos resultados. Em seguida, as amostras foram enviadas para o Laboratório de Química Analítica e Forense (LaQaFor) no Instituto de Ciências Exatas da UFMG para a realização das análises.

4.2.4.1.1. Análise físico-química

4.2.4.1.2. Análise de minerais

Foi pipetado 200 μL de extrato bruto, seguido da adição de 250 μL de água Milli-Q e 50 μL do padrão interno de gálio (Ga) a uma concentração de 50 mg L^{-1} . A solução preparada foi aplicada em discos de quartzo com diâmetro de 30 mm, sendo posteriormente secos em estufa a 80°C. Após a secagem, as amostras foram analisadas utilizando o espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Reflexão Total (TXRF), com tempo de leitura de 500 segundos por amostra. Esse procedimento assegurou a precisão e a sensibilidade necessárias para a quantificação dos elementos sódio (Na), potássio (K), cloro (Cl), magnésio (Mg), manganês (Mn), cobre (Cu), cálcio (Ca), fósforo (P), enxofre (S), ferro (Fe), zinco (Zn), rubídio (Rb) e estrôncio (Sr).

4.2.5. Análise dos compostos fenólicos e antioxidantes

4.2.5.1. Composto fenólicos totais (CFT)

A quantificação dos compostos fenólicos totais foi realizada em triplicata, conforme o procedimento descrito no item 4.2.2.2., com ajustes nas quantidades de extrato e solvente. Para assegurar a linearidade do equipamento, os extratos foram previamente diluídos na proporção de 1:10. Posteriormente, foram utilizadas alíquotas de 120 μL do extrato, que foi diluída em 180 μL de acetona a 70%, respectivamente. As amostras foram acondicionadas em tubos Falcon de 15 mL, envoltos em papel alumínio, visando evitar a degradação dos compostos fenólicos pela ação da luz.

A quantificação foi realizada espectrofotometricamente a 760 nm, sendo os resultados expressos em equivalentes de ácido gálico ($\text{mg EAG} \cdot 100\text{g}^{-1}$ de amostra).

Todas as análises foram realizadas sob condições de baixa luminosidade para garantir a estabilidade dos compostos sensíveis à luz, e a execução em triplicata assegurou a reprodutibilidade e a precisão dos resultados.

4.2.5.2. Atividade antioxidante pelo radical Livre ABTS*+

A atividade antioxidante pelo radical livre ABTS foi realizada em triplicata, conforme o item 4.2.2.2.3., com adaptações nas proporções de extrato e solvente. Para garantir a linearidade do equipamento, os extratos foram previamente diluídos com água deionizada na razão de 1:5. Em seguida, volumes de 200 µL, 500 µL e 800 µL de extrato foram combinados com 800 µL, 500 µL e 200 µL de etanol, respectivamente. As amostras foram acondicionadas em frascos de 15 mL revestidos com papel alumínio para garantir proteção contra a luz, preservando a integridade dos compostos antioxidantes.

A quantificação foi conduzida por espectrofotometria a 734 nm, sendo os resultados expressos em µM de equivalentes Trolox (µM TE. g⁻¹ de amostra). A análise foi realizada sob baixa luminosidade, garantindo a estabilidade dos compostos e a precisão dos resultados.

4.2.5.3. Capacidade antioxidante pela reação com o radical livre DPPH

A atividade antioxidante dos extratos foi avaliada pelo método DPPH, conforme descrito no item 4.2.2.2.4, com adaptações nas proporções de extrato e solvente. Para a análise, os extratos foram previamente diluídos na proporção de 1:5 com água deionizada para garantir a linearidade do equipamento. Em seguida, foram utilizados em três concentrações diferentes (200 µL, 500 µL e 800 µL), em triplicata. As amostras foram diluídas em metanol e acondicionadas em tubos Falcon de 15 mL, protegidos da luz com papel alumínio para preservar sua estabilidade. A absorbância foi medida a 517 nm, utilizando metanol como branco. As medições foram realizadas após 4 horas, monitorando-se a estabilização da absorbância a cada 10 minutos (tempo EC50). A curva padrão foi construída utilizando uma solução de DPPH (60 µM), com concentrações variando de 10 a 60 µM ($R^2 > 0,99$).

A capacidade antioxidante foi expressa como a concentração de antioxidante necessária para reduzir 50% dos radicais livres (EC50), com os resultados expressos em gramas de amostra por grama de DPPH. Todas as análises foram realizadas em triplicata, em ambiente com controle de luminosidade para evitar a degradação dos compostos antioxidantes.

4.2.5.4. Capacidade antioxidante pela reação de redução do ferro (FRAP)

A metodologia descrita por Rufino et al. (2010) foi adotada para a determinação da atividade antioxidante via reação de redução do ferro (FRAP), conforme o item 4.2.2.2.5., com adaptações nas quantidades de extrato e solvente. Para garantir a linearidade do equipamento, os extratos foram previamente diluídos na proporção de 1:10 com água deionizada. Três concentrações de extrato (150 µL, 350 µL e 550 µL) foram utilizadas em triplicata, sendo diluídas em água destilada nas proporções adequadas. As amostras foram acondicionadas em tubos Falcon de 15 mL, protegidos da luz por papel alumínio.

4.2.5.5. Preparo do extrato purificado com carvão ativo para análise de substâncias fenólicas

O método de Folin-Ciocalteu é reconhecido por sua eficácia e simplicidade na quantificação de compostos fenólicos em diversas matrizes vegetais, incluindo alimentos. Ele se baseia na redução do reagente de Folin-Ciocalteu por compostos fenólicos, formando um complexo de cor azul cuja intensidade é medida espectrofotometricamente e é proporcional ao conteúdo de fenóis presentes (SINGLETON; ORTHOFER; LAMUELA-RAVENTÓS, 1999) (SINGLETON; ORTHOFER; LAMUELA-RAVENTÓS, 1999). Contudo, esse método apresenta limitações, especialmente em amostras que contêm outros compostos redutores, como ácido ascórbico, açúcares redutores e, principalmente, clorofila, que podem interferir na reação e levar à superestimação dos resultados (HUANG; OU; PRIOR, 2005) (HUANG; OU; PRIOR, 2005).

A clorofila, presente em grandes quantidades em extratos de folhas, como as de *Eriobotrya japonica*, pode reagir com o reagente de Folin-Ciocalteu, resultando em uma coloração indesejada e mascarando os reais níveis de compostos fenólicos. Para contornar esse problema, é recomendado o uso de técnicas de purificação, como a adsorção de clorofila com carvão ativado, que tem se mostrado eficaz em remover esse interferente sem comprometer a integridade dos compostos fenólicos (SUN et al., 2002; TZIMA; BRUNTON; RAI, 2020).

Além disso, essa metodologia oferece resultados mais precisos quando realizada em triplicata, o que garante a reprodutibilidade e confiabilidade das análises. A medição das absorbâncias é feita a 760 nm, com os resultados expressos em equivalentes de ácido gálico, um padrão utilizado para a quantificação de compostos

fenólicos (PÉREZ; DOMINGUEZ-LÓPEZ; LAMUELA-RAVENTÓS, 2023). Isso assegura que a interferência de compostos indesejáveis, como a clorofila, seja minimizada, garantindo maior precisão nos resultados.

Essa abordagem, com o uso de carvão ativado, é uma solução eficaz para análises fenólicas em matrizes vegetais ricas em pigmentos, oferecendo uma forma confiável de quantificação que evita superestimações frequentes no método de Folin-Ciocalteu.

Para a realização da purificação com carvão ativado seguindo a metodologia proposta por (OLIVEIRA, 2015; SUN et al., 2002) foram utilizadas alíquotas de extrato bruto que variaram entre 2 e 5 mL, de forma a manter a proporção massa vegetal: carvão 1:1.

O carvão ativado granuloso foi pesado em tubo falcon de 15 mL, seguido da adição do volume de extrato bruto (2 a 5 mL). Em seguida, homogeneizou-se por 10 segundos em agitador de tubos e levou a agitação em uma incubadora com movimento orbital, a 130 rpm, a temperatura ambiente, por 20 minutos. Após a agitação, a suspensão foi filtrada com papel de filtro quantitativo, faixa azul (Quanty), 8 µm, em balão volumétrico de 5 mL e o volume final foi ajustado com água deionizada. Finalizada a etapa de purificação, os extratos foram armazenados em eppendorf e congelados a -25°C até o momento da realização da análise.

4.2.5.6. Compostos fenólicos totais com extrato purificado (CFT)

A quantificação dos compostos fenólicos totais foi realizada em triplicata, seguindo a metodologia espectrofotométrica de Folin-Ciocalteu, conforme descrito por Pérez, Dominguez-López e Lamuela-Raventós (2023), Rufino et al. (2010), e Singleton, Orthofer e Lamuela-Raventós (1999), com ajustes nas quantidades de extrato e solvente, conforme descrito no item 4.2.2.2.2. Para garantir a linearidade do equipamento, os extratos foram inicialmente diluídos na proporção de 1:10 com água deionizada, para garantir a linearidade do equipamento. Foi utilizada alíquota de 180 µL do extrato, diluídas em 120 µL, de acetona a 70%, respectivamente. As amostras foram acondicionadas em tubos Falcon de 15 mL, encapados com papel alumínio.

A leitura foi realizada a 760 nm, e os resultados foram expressos em equivalentes de ácido gálico (mg EAG.100g⁻¹ de amostra). Todas as análises foram conduzidas sob condições de baixa luminosidade, assegurando a estabilidade dos compostos e a precisão dos resultados.

4.2.6. Atividade antimicrobiana

No presente estudo, o microrganismo *Candida albicans* (ATCC 10231), utilizado nos testes de CIM, foi obtido da coleção do Laboratório de Taxonomia, Biodiversidade e Biotecnologia de Fungos (LTBBF), enquanto as cepas bacterianas *Escherichia coli* (ATCC 25922) e *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) foram cedidas pelo Laboratório de Microbiologia de Alimentos da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais. Os meios de cultura foram preparados e acondicionados conforme as instruções dos fabricantes, garantindo a precisão dos ensaios realizados. Todo o processo foi conduzido em conformidade com a legislação brasileira que regulamenta o uso de microrganismos em pesquisas de alimentos, de acordo com as diretrizes estabelecidas pela Lei de Biossegurança (GOVERNO FEDERAL DO BRASIL, 2005).

4.2.6.1. Teste de disco de difusão em ágar

Neste estudo, foram utilizadas as cepas bacterianas *Escherichia coli* (ATCC 25922) e *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), que foram reativadas e cultivadas de acordo com as diretrizes estabelecidas pelo Clinical and Laboratory Standards Institute (CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE (CLSI)., 2003a).

As culturas foram padronizadas para atingir uma densidade óptica de 0,5 na escala de McFarland, o que corresponde a uma concentração aproximada de $1,5 \times 10^8$ UFC/mL, garantindo a uniformidade dos testes. Discos de papel-filtro esterilizados, impregnados com 20 µL do extrato antimicrobiano, foram aplicados nas placas de Petri inoculadas com as cepas bacterianas, seguidas de incubação a 37°C por 24 horas. O ensaio foi realizado em triplicata e de maneira aleatória para garantir a precisão, reprodutibilidade e validade dos dados obtidos, conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2. Esquema de Tratamentos e Repetições das Formulações de Filmes com Diferentes Concentrações de Extrato para Avaliação da Atividade Antimicrobiana.

Unidade Experimental	Tratamento	Repetição
1	FSE	3
2	F2%	3
3	F4%	3
4	F8%	3
5	F12%	3
6	F24%	3

Fonte: Dados da pesquisa, 2024. Legenda: FSE: Filme sem Extrato; FE2: Filme com 2% de Extrato; FE4: Filme com 4% de Extrato; FE8: Filme com 8% de Extrato; FE12: Filme com 12% de Extrato; FE24: Filme com 24% de Extrato.

Após esse período, as zonas de inibição formadas ao redor dos discos foram medidas com precisão, utilizando um paquímetro digital para assegurar a confiabilidade dos resultados.

4.2.6.2. Preparo dos microrganismos

A investigação da atividade antimicrobiana do extrato foi conduzida no Laboratório de Microbiologia de Alimentos da Faculdade de Farmácia da UFMG. As cepas de *Escherichia coli* (ATCC 25922) e *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) foram reativadas em caldo BHI (Brain Heart Infusion) Kasvi, incubadas a 37°C por 24 horas. Após a reativação, foi realizada uma purificação semeando-se os microrganismos em placas de Petri contendo ágar BHI (Kasvi), seguido de nova incubação nas mesmas condições.

4.2.6.3. Inoculação e preparação das placas

Após 24 h de incubação, utilizando uma alça de inoculação estéril, as colônias isoladas em ágar Brain Heart Infusion (Infusão Cérebro-Coração) BHI foram transferidas para tubos contendo 10 mL de solução salina estéril a 0,85%, obtendo-se uma suspensão homogênea.

A densidade das suspensões foi ajustada com base na escala de McFarland, utilizando leitura espectrofotométrica a 625 nm, em espectrofotômetro devidamente

calibrado. A faixa de absorvância foi ajustada entre 0,08 e 0,10, o que corresponde a uma densidade óptica equivalente a 0,5 na escala de McFarland e representa aproximadamente $1,5 \times 10^8$ UFC/mL para organismos bacterianos.

Após o ajuste inicial da densidade óptica, foram realizadas diluições seriadas para a avaliação de fungos e bactérias. Optou-se pelo uso de ágar Sabouraud dextrose para fungos e ágar Mueller-Hinton para bactérias. Discos de papel-filtro foram impregnados com extratos de *E. japonica* na concentração de 7 mg/mL, correspondente à menor concentração de CIM observada.

As suspensões microbianas foram preparadas em tubos contendo 9 mL de solução salina estéril a 0,85%, ajustadas para concentrações de 10^8 , 10^5 e 10^1 UFC/mL. Em seguida, 1 mL de cada suspensão foi espalhado homogeneamente sobre placas de Petri contendo ágar Mueller-Hinton, utilizando a técnica de espalhamento superficial (*Spread Plate*), conforme ilustrado na Figura 12.

A inoculação foi realizada para *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* e *Candida albicans*, assegurando a distribuição uniforme dos microrganismos sobre as placas. A padronização das suspensões seguiu as recomendações do Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI, 2003b).

Figura 11. Técnica de spread plate (espalhamento superficial) e espalhador de vidro.



Fonte: Fonte: Nisha Rijal, 2021.

4.2.6.4. Preparação dos Discos de Papel Filtro

Discos de papel filtro esterilizados, com 6 mm de diâmetro, foram impregnados em 20 uL de extrato bruto para bactérias e para o fungo. O controle positivo foi realizado utilizando discos com antibiótico padrão ampicilina (Cecon) para bactérias e fluconazol fungos respectivamente, já para o controle negativo, discos embebidos em água destilada estéril.

4.2.6.5. Aplicação de Discos a Placas de Ágar Inoculadas

Os discos embebidos nas diferentes concentrações de extrato, o controle positivo e o controle negativo foram colocados na superfície das placas de ágar semeadas com os microrganismos teste. Cada disco foi pressionado de encontro à placa, de maneira a assegurar contato completo com a superfície de ágar. Os discos foram distribuídos equidistantes, de maneira a garantir a maior distância entre eles.

As placas inoculadas com os microrganismos testes foram incubadas a 37°C por 24 horas. Após o período de incubação, os halos foram medidos usando um paquímetro digital, os resultados foram expressos em milímetros (mm) e comparados com os diâmetros de inibição obtidos nas placas de controle positivo e negativo.

4.2.6.6. Concentração Inibitória Mínima (CIM)

O teste de Concentração Inibitória Mínima (CIM) foi realizado utilizando o ensaio de microdiluição em caldo para determinar a menor concentração do extrato capaz de inibir visivelmente o crescimento microbiano. Esse método foi aplicado para as cepas bacterianas *Escherichia coli* (ATCC 25922) e *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), bem como para o fungo *Candida albicans* (ATCC 10231), sendo que este último foi avaliado exclusivamente pelo método de CIM. As culturas microbianas foram preparadas e ajustadas de acordo com protocolos padronizados, garantindo a uniformidade dos ensaios. A solução do extrato foi testada em diluições seriadas em placas de microtitulação contendo caldo Mueller-Hinton para as bactérias e caldo Sabouraud para os fungos, a fim de proporcionar as condições de crescimento ideais. Os resultados foram expressos como a menor concentração de extrato que inibiu visivelmente o crescimento dos microrganismos, permitindo uma avaliação precisa de sua atividade antimicrobiana.

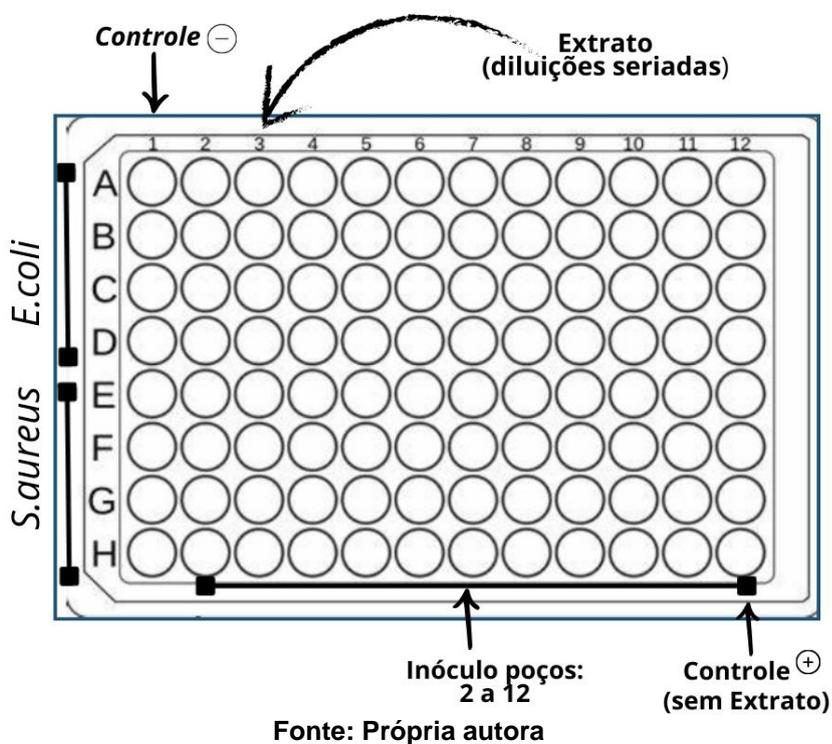
O teste de Concentração Inibitória Mínima (MIC) determina a menor concentração de uma substância, como um extrato de planta, capaz de inibir

visivelmente o crescimento de microrganismos. A substância é diluída em série e testada contra uma cultura microbiana, e o resultado é expresso como a menor concentração sem crescimento visível (PEREIRA et al., 2022a).

Método de microdiluição em caldo foi utilizado para determinar a Concentração Inibitória Mínima (CIM) do extrato, conforme as diretrizes estabelecidas pelo (CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE -CLSI., 2003).

Inicialmente, foi preparada uma solução estoque do extrato, seguida de diluições seriadas diretamente em placas estéreis de microtitulação com 96 poços conforme figura13. As concentrações de extrato testadas variaram entre 990 µg/mL e 7,8 mg/mL de caldo Mueller-Hinton (Kasvi) para bactérias e Caldo Sabouraud para fungos, garantindo uma faixa adequada para a determinação precisa da CIM. Cada poço foi composto por um volume final de 100µL, incluindo o meio de cultura apropriado (Caldo Mueller-Hinton para bactérias ou Caldo Sabouraud para fungos), a concentração designada do extrato e uma suspensão padronizada de células microbianas ($1-2 \times 10^6$ UFC/mL).

Figura 12. Esquema de Diluição seriada em placa



As cepas microbianas selecionadas para o ensaio foram *Staphylococcus aureus* (bactéria Gram-positiva), *Escherichia coli* (bactéria Gram-negativa) e *Candida*

albicans (fungo), todas preparadas a partir de culturas frescas em fase logarítmica de crescimento. Após a adição das suspensões microbianas, as placas foram seladas com filme plástico para evitar a evaporação e incubadas a 37°C por um período de 24 horas.

Após a incubação, a leitura visual da turvação nos poços foi realizada para identificar a presença ou ausência de crescimento microbiano. A CIM foi definida como a menor concentração de extrato capaz de inibir completamente o crescimento visível do microrganismo.

Foram utilizados como controles positivos (meio de cultura com a suspensão microbiana, sem extrato) e negativos (meio de cultura com o extrato, sem microrganismos) foram incluídos em todas as execuções para garantir a integridade e validade dos resultados. A CIM foi expressa em µg/mL, sendo a menor concentração de extrato que inibiu o crescimento microbiano visível.

Todos os experimentos foram realizados em triplicata para assegurar a precisão e a reprodutibilidade dos dados obtidos.

4.2.7. Filmes comestíveis

4.2.7.1. Testes iniciais

Inicialmente, foram conduzidos estudos exploratórios para otimizar a formulação dos filmes utilizando a técnica de casting com adaptações. Esta técnica consiste na aplicação da solução filmogênica sobre uma superfície plana. Nos testes preliminares, a superfície tradicional de poliestireno foi substituída por formas de silicone, devido à maior flexibilidade e facilidade no desmolde. A solução foi submetida à desidratação em estufa a 40°C até a completa evaporação do solvente, seguindo protocolos descritos na literatura (Pelissari et al., 2013; Silva, 2020).

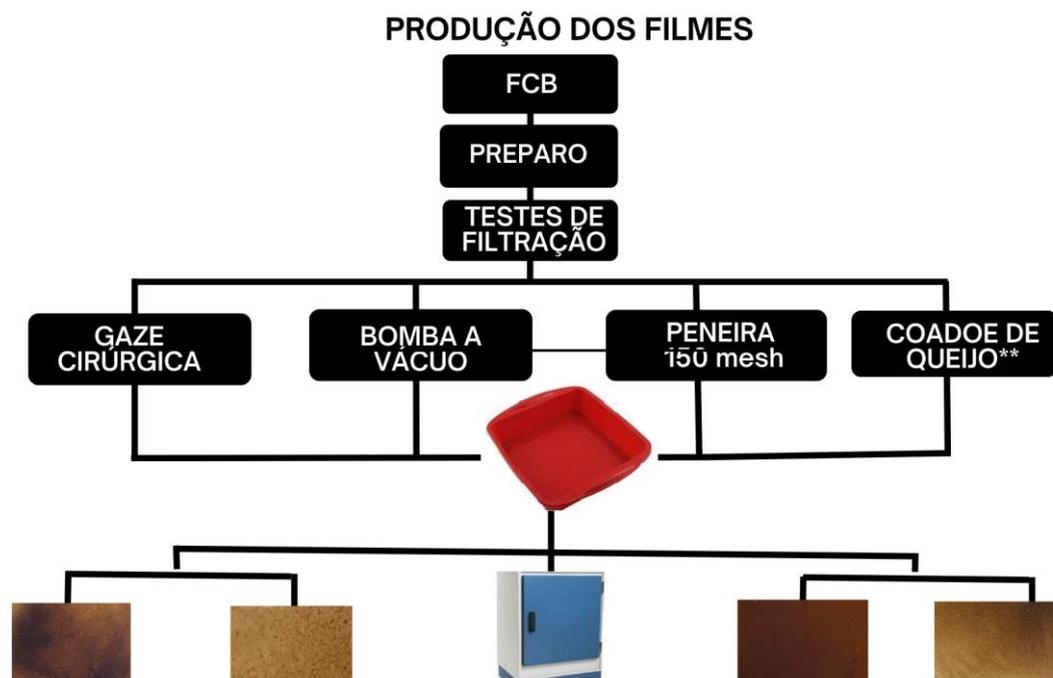
Diversos parâmetros foram avaliados durante os testes preliminares, como a concentração de amido e de farinha de casca de banana, ajustadas para alcançar a proporção ideal que promovesse a coesão do material. Além disso, foram analisadas as condições de filtração da solução, utilizando diferentes materiais (gaze cirúrgica, malha de coador de queijo, papel de filtro a vácuo e peneiras de 80, 100, 120 e 150 mesh) para garantir maior clareza e homogeneidade da solução. A quantidade de água também foi ajustada, sendo considerada um fator crítico, pois influencia diretamente na viscosidade da solução e na formação de filmes homogêneos.

A temperatura de gelatinização foi outro aspecto ajustado durante os estudos preliminares. Embora a literatura indique o ponto de gelatinização do amido em torno de 67°C (Lai, 2000; Turhan & Gunasekaran, 2002), a temperatura foi elevada para 90°C para garantir a interação completa entre o amido e os demais componentes da solução filmogênica. Esse ajuste foi essencial para promover a gelatinização total do amido, resultando na liberação de amilopectina e amilose, o que favoreceu a formação de uma matriz contínua e coesa. Apesar da viscosidade elevada observada nesse processo, o controle térmico e o uso de plastificantes minimizaram os efeitos negativos, promovendo a flexibilidade e uniformidade dos filmes.

Os estudos preliminares também avaliaram as condições de desidratação. A temperatura de 40°C foi mantida durante todo o processo para garantir uma secagem lenta e uniforme, evitando a formação de fissuras e preservando a integridade estrutural dos filmes. Essas condições foram fundamentais para obter filmes com boas propriedades mecânicas, como flexibilidade e resistência. Após esses testes, foram definidas as condições ideais de preparação, que serviram como base para os ensaios posteriores.

A metodologia empregada assegurou a formação de filmes homogêneos, como ilustrado na Figura 13.

Figura 13. Fluxograma das etapas do trabalho experimental



Fonte: autoria própria. Legenda: FCB: Farinha da casca de banana; ** Material do coador: Micro tela Poliéster

4.2.7.1.1. Delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC)

O experimento foi conduzido utilizando o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com seis tratamentos distintos e três repetições para cada, totalizando 18 unidades experimentais, conforme demonstrado na Tabela 4. Os tratamentos foram distribuídos aleatoriamente entre as parcelas, garantindo a validade estatística dos resultados (Silva et al., 2018).

A aleatorização foi realizada com o objetivo de garantir a validade estatística dos resultados, de acordo com os princípios do DIC. A análise de variância (ANOVA) foi realizada para identificar diferenças significativas entre os tratamentos.

Tabela 3. Delineamento Experimental Inteiramente Casualizado (DIC)

Treatamento	Total de Unidades Experimentais
FSE	3
FE 2%	3
FE 4%	3
FE 8%	3
FE 12%	3
FE 24%	3
Total de Repetições	18

Fonte: Dados da pesquisa, 2024. Legenda: FSE: Filme sem Extrato; FE 2%: Filme adicionado com 2% de extrato; FE 4%: Filme adicionado com 4% de extrato; FE 8%: Filme adicionado com 8% de extrato. FE12%: Filme adicionado com 12% de extrato; FE24%: Filme adicionado com 24% de extrato.

4.2.7.1.2. Preparo dos Filmes Comestíveis

Para a elaboração dos filmes comestíveis, foram utilizadas seis formulações distintas, todas baseadas em farinha de casca de banana como componente principal. A melhor condição identificada nos estudos preliminares consistiu em combinar 8,0 g de farinha de casca de banana com 3,8 g de amido de milho, solubilizando a mistura em 190 mL de água destilada. A solução foi submetida a aquecimento controlado em banho-maria, sob agitação constante com agitador magnético (TMA10C, Thelga®), e aquecida a $90^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ por 30 minutos, conforme descrito por Silva et al. (2020). Esse aquecimento garantiu a completa gelatinização do amido, favorecendo a homogeneidade da solução filmogênica.

Posteriormente, foram adicionados 1,52 g de glicerol à solução, atuando como plastificante. A mistura foi mantida por mais 30 minutos para completar a incorporação do glicerol à matriz polimérica. Após o resfriamento à temperatura ambiente, a solução foi filtrada em peneira de 150 mesh para remover partículas maiores e garantir uma solução homogênea.

Por fim, o extrato foi adicionado à solução filmogênica, ajustando-se a proporção exata com pipetas para garantir precisão. A Tabela 4 apresenta as formulações utilizadas nos tratamentos.

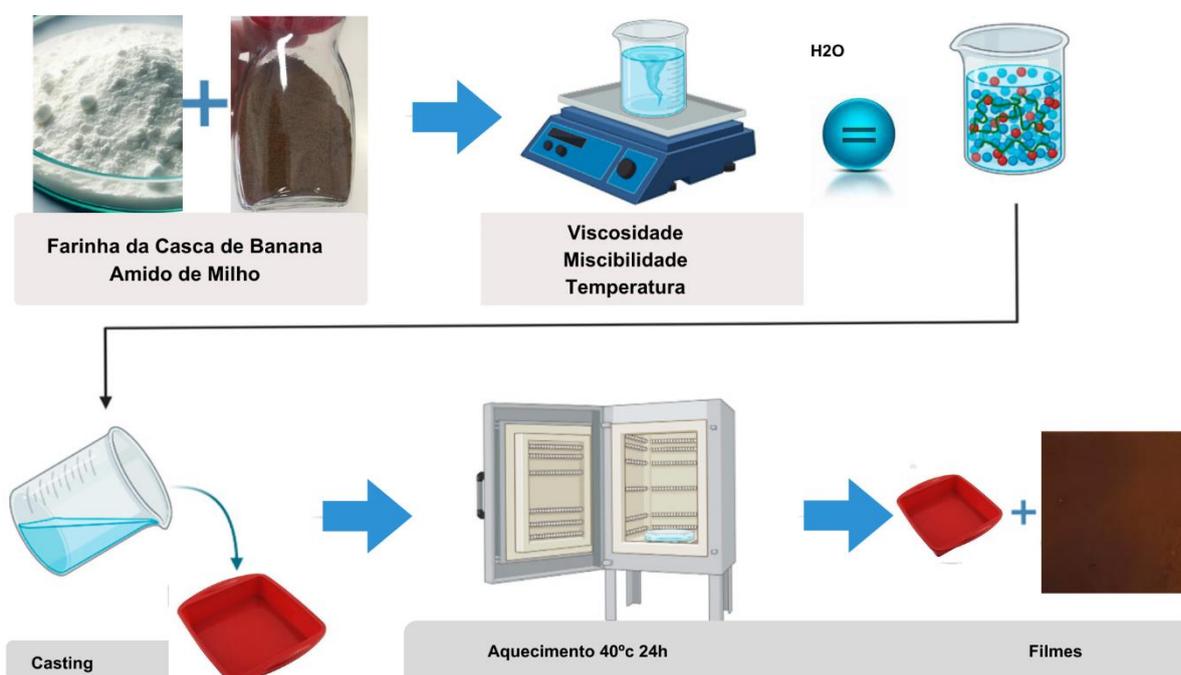
Tabela 4. Proporções de solução filmogênica e de extrato da folha de *E. japonica* nas formulações dos filmes comestíveis

Tratamento	Volume de Solução Filmogênica (mL)	Volume do Extrato adicionado (mL)	Volume Final (mL)
FSE	110	0	110
FE 2	107,8	2,2	110
FE 4	105,6	4,4	110
FE 8	101,2	8,8	110
FE 12	96,8	13,2	110
FE 24	83,6	26,4	110

Fonte: Dados da pesquisa, 2024. Legenda: FSE: Filme sem Extrato; FE 2%: Filme adicionado com 2% de extrato; FE 4%: Filme adicionado com 4% de extrato; FE 8 %: Filme adicionado com 8% de extrato. FE12%: Filme adicionado com 12% de extrato; FE24%: Filme adicionado com 24% de extrato.

As soluções filmogênicas foram, então, distribuídas em moldes de silicone e transferidas para uma estufa de circulação mecânica de ar, onde permaneceram por 24 horas a $40^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ para desidratação controlada. Após esse intervalo de tempo, os filmes foram realocados para dessecadores, com a finalidade de estabilizar a umidade residual presente no material, permanecendo no interior desses dispositivos até atingirem a temperatura ambiente (Figura 14).

Figura 14. Preparo dos Filmes Comestíveis



Fonte: Adaptado de Borbolla-Jiménez et al. (2023).

Posteriormente, os filmes foram cuidadosamente retirados dos moldes, acondicionados em sacos plásticos vedados e protegidos da luz, a fim de garantir a preservação das suas propriedades para as análises posteriores.

Todo o procedimento foi realizado em triplicata, assegurando a obtenção de filmes homogêneos e de alta qualidade, adequados para a avaliação das propriedades exigidas no estudo.

4.2.7.2 Caracterização dos filmes

4.2.7.2.1. Análises Físico-Químicas

As análises físico-químicas fornecem informações sobre a estabilidade, composição e comportamento dos filmes em diferentes condições ambientais.

4.2.7.2.1.1. Atividade de água (Aw), umidade e cinzas

A determinação das propriedades físico-químicas dos filmes biodegradáveis foi realizada conforme os procedimentos descritos para a análise da farinha de casca de banana, com as devidas adaptações para a nova matriz. O teor de umidade dos filmes foi avaliado conforme o item 4.2.2.1.1., utilizando-se o mesmo método aplicado à farinha de casca de banana, sem alterações no procedimento, para a análise dos filmes, a fim de garantir precisão e reprodutibilidade. Da mesma forma, a determinação do teor de cinzas seguiu as orientações descritas no item 4.2.2.1.2., mantendo o procedimento previamente estabelecido para a farinha de casca de banana, com a adaptação necessária para a matriz dos filmes biodegradáveis. Por fim, a determinação da atividade de água (Aw) dos filmes foi realizada conforme descrito no item 4.2.2.1.3, utilizando a mesma metodologia aplicada à farinha de casca de banana. Embora o método original tenha sido mantido, foram feitas adaptações específicas para a nova matriz dos filmes, que foram recortados em formatos circulares e acondicionados no molde do equipamento. Essas adaptações garantiram uma análise precisa da atividade de água na matriz filmogênica.

4.2.7.2.1.2. Solubilidade em água

A solubilidade em água dos filmes foi avaliada seguindo um protocolo adaptado de (PELISSARI et al., 2013). Os filmes foram cortados em discos de 2cm de diâmetro, secos em estufa a 105°C por 24 horas e, em seguida, pesados para obter o peso seco inicial (Pi). As amostras foram imersas em 50 mL de água destilada e agitadas esporadicamente por 24 horas à temperatura ambiente. Após a imersão, a água foi drenada, e os filmes foram novamente secos a 105°C por mais 24 horas para determinar o peso seco final (Pf). A solubilidade foi então calculada com base na variação entre o peso inicial e final segundo a equação 3.

$$SA (\%) = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

A determinação do pH é um parâmetro essencial para avaliar a compatibilidade dos filmes com diferentes tipos de alimentos. Para esta análise, 1 g de filme foi pesado e triturado utilizando um triturador de frutas doméstico, assegurando a homogeneização da amostra. O material triturado foi então dissolvido em 10 mL de água destilada e deixado em repouso por 30 minutos. Em seguida, a solução foi submetida a um banho de ultrassom por mais 30 minutos, promovendo a completa solubilização dos componentes.

Após esse processo, a solução foi filtrada com papel de filtro qualitativo para eliminar partículas residuais. As medições de pH foram realizadas em triplicata com o auxílio de um medidor de pH de bancada (Bante 920 Benchtop pH Meter®), seguindo protocolos rigorosos para garantir precisão e reprodutibilidade (AOAC INTERNATIONAL, 2023b). No caso das soluções filmogênicas, o eletrodo foi diretamente imerso na solução, e as leituras foram realizadas após a estabilização, em conformidade com as recomendações de Păușescu et al. (2022).

4.2.7.2.1.3.Acidez Titulável (AT)

A determinação da acidez titulável é fundamental para avaliar a quantidade de ácidos presentes nos alimentos, nos filmes estes ácidos influenciam diretamente aspectos como a preservação, o sabor e a integridade do material quando utilizado em contato com alimentos. O método empregado baseia-se na titulação com solução de hidróxido de sódio (NaOH), utilizando fenolftaleína como indicador para identificar o ponto de viragem, que ocorre quando o pH atinge $8,1 \pm 0,2$.

Neste estudo, a acidez foi quantificada por titulometria. As amostras foram trituradas em um triturador de frutas doméstico e, em seguida, 5,0 g do material homogeneizado foram pesados com precisão. O material foi misturado a 100 mL de água destilada e deixado em repouso por 24 horas, visando à extração completa dos compostos ácidos. Após esse período, 20 mL do sobrenadante foi retirado e titulado com solução de NaOH 0,01 M até o ponto final. Os resultados da acidez foram expressos em $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ de ácido málico (INSTITUTO ADOLFO LUTZ., 1985).

Cálculo conforme equação 4.

Onde $V = n^\circ$ de mL da solução de hidróxido de sódio gasto na titulação

F = fator de correção da solução de hidróxido de sódio

P = massa da amostra em g ou volume pipetado em mL

M = molaridade da solução de hidróxido de sódio

$$AT (\%) = \frac{V \times F \times M}{P} \times 100$$

Eq.4

4.2.7.3. Análise de Minerais

4.2.7.3.1. Preparo da amostra e Análise dos minerais

O preparo das amostras e a determinação dos teores de minerais dos filmes comestíveis seguiram rigorosamente as metodologias descritas nos itens 4.2.2.1.2 e 4.2.2.1.4, previamente utilizadas para a análise da farinha de casca de banana. Embora se trate de uma matriz distinta, o protocolo analítico permaneceu inalterado, com adaptações realizadas apenas quando necessário para adequação específica à nova matriz, garantindo a consistência e a confiabilidade dos resultados. Para garantir a precisão e a consistência nas medições, as quantidades e diluições utilizadas para as amostras estão apresentadas na tabela 5. Esta adaptação assegura que os parâmetros de análise mineral sejam mantidos com o mesmo rigor científico aplicado anteriormente.

Tabela 5. Diluição para Análise do Teor de Minerais em Filmes elaborados com o Extrato de folhas de *Eriobotrya japonica*

Filmes de diferentes concentrações	Cinzas (g)	Ácido nítrico concentrado (uL)	Água Milli-Q". (mL)
FSE	0,3063	1000	39
FE 2	0,2643	1000	39
FE 4	0,1498	0,500	19,5
FE 8	0,1686	0,500	19,5
FE 12	0,1075	0,500	19,5
FE 24	0,1430	0,500	19,5

Fonte: Dados da pesquisa, 2024. Legenda: FSE: Filme sem Extrato; FE 2%: Filme adicionado com 2% de extrato; FE 4%: Filme adicionado com 4% de extrato; FE 8 %: Filme adicionado com 8% de extrato. FE12%: Filme adicionado com 12% de extrato; FE24%: Filme adicionado com 24% de extrato.

4.2.7.4 Análise dos Compostos fenólicos e antioxidantes

4.2.7.4.1 Preparo do Extrato dos filmes para Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante

O preparo dos Extrato dos filmes biodegradáveis para a análise dos compostos fenólicos e atividade antioxidante foi realizada conforme descrito no item 4.2.2.2.1., mantendo o procedimento utilizado para o preparo do extrato da farinha de casca de banana. O método permaneceu inalterado, sendo adaptado apenas à nova matriz (filmes biodegradáveis).

4.2.7.4.1.1 Análises dos Composto Fenólicos Totais

A partir dos extratos previamente obtidos, foi preparada uma diluição em um tubo Falcon de 15 mL para a análise dos filmes biodegradáveis, os quais continham a concentração desejada de extrato. As alíquotas dos extratos brutos de todos os filmes, estão detalhadamente descritas na Tabela 6.

A análise dos compostos fenólicos nos filmes foi realizada conforme o procedimento descrito no item 4.2.2.2.2. O protocolo analítico, originalmente utilizado na análise da farinha de casca de banana, foi mantido inalterado para a nova matriz dos filmes biodegradáveis.

Tabela 6. Diluição: Volume de extratos e de solução de acetona para Análise de Compostos Fenólicos Totais.

Filmes de diferentes concentrações	Alíquota de Extrato (µL)	Acetona 70% (µL)
FSE	50	250
FE 2	50	250
FE 4	30	270
FE 8	30	270
FE 12	20	280
FE 24	10	290

Fonte: Dados da pesquisa, 2024. Legenda: FSE: Filme sem Extrato; FE 2%: Filme adicionado com 2% de extrato; FE 4%: Filme adicionado com 4% de extrato; FE 8 %: Filme adicionado com 8% de extrato. FE12%: Filme adicionado com 12% de extrato; FE24%: Filme adicionado com 24% de extrato.

4.2.7.4.1.2 Atividade antioxidante pelo Radical Livre ABTS^{•+}

A partir dos extratos previamente obtidos, foram preparadas três diluições distintas em tubos Falcon de 15 mL para a análise dos filmes biodegradáveis, os quais continham diferentes concentrações de extrato. As alíquotas dos extratos, assim como as respectivas diluições empregadas em cada amostra, estão detalhadamente descritas na Tabela 7.

A análise da Atividade antioxidante pelo Radical Livre ABTS nos filmes foi realizada conforme o procedimento descrito no item 4.2.2.2.3. O protocolo analítico, originalmente utilizado na análise da farinha de casca de banana, foi mantido inalterado, exceto pelas adaptações necessárias para a nova matriz dos filmes biodegradáveis.

Tabela 7. Diluição: Volume de extrato bruto e de álcool etílico utilizados nas diluições para Análise de Atividade Antioxidante – ABTS

Filmes de diferentes concentrações	Alíquota de Extrato (µL)	Álcool Etílico (µL)
FSE	100	900
	300	700
	500	500
FE 2	100	900
	300	700
	500	500
FE 4	100	900
	300	700
	500	500
FE 8	50	950
	150	850
	250	750

FE 12	50	950
	150	850
	250	750
FE 24%	50	950
	150	850
	250	750

Fonte: Dados da pesquisa, 2024. Legenda: FSE: Filme sem Extrato; FE 2%: Filme adicionado com 2% de extrato; FE 4%: Filme adicionado com 4% de extrato; FE 8 %: Filme adicionado com 8% de extrato. FE12%: Filme adicionado com 12% de extrato; FE24%: Filme adicionado com 24% de extrato.

4.2.7.4.1.3 Capacidade Antioxidante pela Reação com o Radical Livre DPPH

A partir dos extratos previamente obtidos, foram preparadas três diluições distintas em tubos Falcon de 15 mL para a análise dos filmes biodegradáveis, os quais continham diferentes concentrações de extrato. As alíquotas dos extratos, assim como as respectivas diluições empregadas em cada amostra, estão detalhadamente descritas na Tabela 8.

A análise da Capacidade Antioxidante pela Reação com o Radical Livre DPPH nos filmes foi realizada conforme o procedimento descrito no item 4.2.2.2.4. O protocolo analítico, originalmente utilizado na análise da farinha de casca de banana, foi mantido inalterado, exceto pelas adaptações necessárias para a nova matriz dos filmes biodegradáveis.

Tabela 8. Volume de extrato bruto e de álcool metílico utilizados nas diluições

Filmes de diferentes concentrações	Alíquota de Extrato (µL)	Álcool Metílico (µL)
FSE	300	700
	500	500
	700	300
FE 2	300	700
	500	500
	700	300
FE 4	100	900
	150	750
	200	800
FE 8	100	900
	150	850
	200	800
FE 12	25	975
	50	950
	100	900
FE 24	25	975
	50	950
	100	900

Fonte: Dados da pesquisa, 2024. Legenda: FSE: Filme sem Extrato; FE 2%: Filme adicionado com 2% de extrato; FE 4%: Filme adicionado com 4% de extrato; FE 8 %: Filme adicionado com 8% de extrato. FE12%: Filme adicionado com 12% de extrato; FE24%: Filme adicionado com 24% de extrato.

4.2.7.4.4 Capacidade Antioxidante pela Reação de Redução do Ferro (FRAP)

A partir dos extratos previamente obtidos, foram preparadas três diluições distintas em tubos Falcon de 15 mL para a análise dos filmes biodegradáveis, os quais continham diferentes concentrações de extrato. As alíquotas dos extratos, assim como as respectivas diluições empregadas em cada amostra, estão detalhadamente descritas na Tabela 9.

A análise da Capacidade Antioxidante pela Reação de Redução do Ferro (FRAP) nos filmes foi realizada conforme o procedimento descrito no item 4.2.2.2.5. O protocolo analítico, originalmente utilizado na análise da farinha de casca de banana, foi mantido inalterado, exceto pelas adaptações necessárias para a nova matriz dos filmes biodegradáveis.

Tabela 9. Volume de extrato bruto e de água destilada utilizados nas diluições para Análise de Atividade Antioxidante – FRAP.

Filmes de diferentes concentrações	Alíquota de Extrato(μL)	Água Destilada (μL)
FSE	50	950
	100	900
	150	850
FE 2	50	950
	100	900
	150	850
FE 4	25	975
	50	950
	100	900
FE 8	25	975
	50	950
	100	900
FE 12	10	990
	30	970
	60	940
FE 24	10	990
	30	970
	60	940

Fonte: Dados da pesquisa, 2024. Legenda: FSE: Filme sem Extrato; FE 2%: Filme adicionado com 2% de extrato; FE 4%: Filme adicionado com 4% de extrato; FE 8 %: Filme adicionado com 8% de extrato. FE12%: Filme adicionado com 12% de extrato; FE24%: Filme adicionado com 24% de extrato.

4.2.8. Espessura e Gramatura

A espessura e a gramatura dos filmes são parâmetros cruciais para a determinação de suas propriedades mecânicas, de barreira e sensoriais. Estes dois aspectos influenciam diretamente características como resistência, flexibilidade e adequação dos filmes a diversas aplicações, como embalagens e revestimentos.

A espessura dos filmes foi medida em dez pontos aleatórios de cada amostra, com três repetições para cada ponto, garantindo precisão e uniformidade nas medições. Utilizou-se um micrômetro digital de alta precisão (Digimess, Electronic Outside Micrometer, São Paulo), com escala de 0–25 mm e precisão de 0,001 mm. A média das medições foi calculada para cada filme, assegurando a confiabilidade dos resultados e permitindo a avaliação das variações de espessura entre as amostras.

A gramatura dos filmes foi avaliada de acordo com o método descrito por Câmara (2022), com adaptações para este estudo. As amostras foram cortadas em dimensões de 5 x 5 cm² e pesadas em uma balança analítica de alta precisão. A gramatura, expressa em gramas por metro quadrado (g/m²), foi calculada pela conforme demonstrado na equação 5.

Em que:

G: Gramatura (g/m²)

M: Massa do filme (g)

A: Área do filme (m²)

$$G = \frac{M}{A} 100$$

Eq.5

4.2.9. Análises das Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas dos filmes são essenciais para caracterizar a performance do filme em termos de resistência e durabilidade, especialmente em contextos de embalagens e materiais biodegradáveis.

4.2.9.1. Teste de Perfuração

O teste de perfuração foi realizado para avaliar a força à perfuração e a taxa de deformação à perfuração dos filmes, utilizando o analisador de textura TAXT2i (Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra). Esse teste é fundamental para determinar

a resistência dos filmes quando submetidos a forças concentradas, como impactos, sendo particularmente relevante para aplicações que requerem alta durabilidade, especialmente em condições de contato ou manuseio intensivo.

Os filmes foram cortados em discos de 40 mm de diâmetro e fixados em um suporte com uma abertura circular de 10 mm de diâmetro. Uma sonda cilíndrica de 4 mm de diâmetro foi utilizada para aplicar força perpendicularmente à superfície do filme, movendo-se a uma velocidade constante de 1 mm/s até o rompimento do material. A força máxima de perfuração (N) e a distância perfurada antes da ruptura (mm) foram obtidas da curva força x distância, por meio do software Texture Expert Exceed.

Foram realizados três testes independentes, com quatro medições em cada amostra, totalizando 12 medições para cada ensaio. A resistência à perfuração (RP) e a taxa de deformação à perfuração (Dp) foram calculadas segundo as equações 6 e 7, respectivamente.

Onde:

$F_{m\acute{a}x}$ = força máxima aplicada (N),

A = área da seção transversal (2 x raio da abertura circular x espessura) (mm²),

r = raio da parte exposta do filme (5 mm),

d = distância percorrida pela sonda desde o ponto de contato até o ponto de ruptura do filme.

$$Rp = \frac{F_{m\acute{a}x.}}{A}$$

Eq.6

$$Dp = \frac{\sqrt{r^2+d^2}-r}{r} \times 100 \frac{F_{m\acute{a}x.}}{A}$$

$$\frac{F_{m\acute{a}x.}}{A}$$

Eq.7

4.2.9.2. Teste de Tração

O teste de tração foi conduzido para determinar a resistência à tração (RT), o alongamento à ruptura (AL) e o módulo elástico (ME) dos filmes, de acordo com o método padrão D882-12 (ASTM, 2012). O equipamento utilizado foi o analisador de textura TAXT2i, com uma célula de carga calibrada de 5 kg e um sistema de garras de tensão A/TG.

Os filmes foram cortados em tiras com 15 mm de largura e 100 mm de comprimento. A distância entre as garras foi mantida em 50 mm, e a velocidade de ensaio foi ajustada para 1 mm/s. A força máxima no momento da ruptura (N) e a extensão no momento da ruptura (mm) foram obtidas a partir da curva força x distância, utilizando o software Texture Expert Exceed.

O módulo elástico (ME), que indica a rigidez do material, foi calculado traçando uma tangente na porção linear inicial da curva força x distância e medindo a relação força-deslocamento ao longo dessa tangente. As fórmulas utilizadas para calcular os parâmetros estão demonstradas nas equações 8 e 9.

Onde:

$F_{m\acute{a}x}$ é a força máxima na ruptura (N),

A é a área da seção transversal (largura x espessura) (mm^2),

Δl é a variação de comprimento até a ruptura (mm),

l_0 é o comprimento inicial da amostra (mm),

F_l é a força selecionada referente à porção linear da curva,

Δl é a distância correspondente referente à porção linear.

$$RT = \frac{F_{m\acute{a}x}}{A} \quad \text{Eq.8}$$

$$AL = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100 \quad \text{Eq. 9}$$

$$ME = \frac{MF_1 \times l_0}{\Delta l} \quad \text{Eq.10}$$

4.2.10. Propriedades ópticas

Os filmes foram avaliados quanto à cor utilizando um espectrofotômetro (Konica Minolta, CM-2300d, Tóquio, Japão), operando com a escala CIELab. Os parâmetros colorimétricos analisados foram L^* (luminosidade), a^* (representando a variação do vermelho ao verde) e b^* (variando do amarelo ao azul). A partir desses dados, foram calculados os valores de tonalidade (h°) e intensidade da cor (c^*), conforme as equações 1 e 2, descritas por Leão (2013) e Fernando et al. (2000)

$$h^\circ (\text{tonalidade}) = \arctg (b^*/a^*) \quad (\text{Eq. 1})$$

$$c^* (\text{croma}) = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (\text{Eq. 2})$$

As medições foram realizadas em triplicata para garantir a precisão dos resultados. A cor dos filmes é um parâmetro crucial nas propriedades físicas e

sensoriais, especialmente em aplicações alimentícias e farmacêuticas, onde a aparência pode afetar a aceitação visual e a atratividade comercial do produto.

4.2.11. Atividade Antimicrobiana

As análises de atividade antimicrobiana dos filmes foram realizadas conforme descrito no item 4.2.6. O protocolo analítico, originalmente utilizado para a análise do extrato de *Eriobotrya japonica*, foi mantido inalterado em sua essência. No entanto, pequenas adaptações foram realizadas para adequá-lo às características específicas da nova matriz, que passou de líquida para sólida. Essas modificações, necessárias devido à natureza dos filmes biodegradáveis, serão detalhadas no decorrer da metodologia.

4.2.11.1. Disco de difusão

4.2.11.2. Preparo dos microrganismos

O preparo dos microrganismos para a realização da análise de atividade antimicrobiana dos filmes foi realizado conforme o procedimento descrito no item 4.2.6.1.2.

O protocolo analítico, originalmente desenvolvido para a análise do extrato de *Eriobotrya japonica*, foi mantido inalterado, no entanto, pequenas adaptações foram realizadas para adequá-lo às características específicas da nova matriz, que passou de líquida para sólida. Essas modificações, necessárias devido à natureza dos filmes biodegradáveis

4.2.11.3. Inoculação e Preparação das Placas

A inoculação e o preparo das placas foram realizados conforme o procedimento descrito no item 4.2.6.1.3.

O protocolo analítico, originalmente desenvolvido para a análise do extrato de *Eriobotrya japonica*, foi mantido inalterado, exceto pelas adaptações necessárias para sua aplicação à matriz de filmes biodegradáveis.

4.2.11.4. Preparação dos Discos de Papel Filtro

O preparo dos discos de papel de filtro foi realizado conforme o procedimento descrito no item 4.2.6.1.4.

. O protocolo analítico, originalmente desenvolvido para a análise do extrato de *Eriobotrya japonica*, foi mantido inalterado, com adaptações específicas necessárias para sua aplicação à matriz de filmes biodegradáveis.

4.2.11.5. Concentração Inibitória Mínima (CIM)

Todo o procedimento para a realização do teste de concentração inibitória mínima foi conduzido conforme descrito no item 4.2.6.2. O protocolo analítico, originalmente desenvolvido para a análise do extrato de *Eriobotrya japonica*, foi mantido inalterado, com as adaptações específicas necessárias para sua aplicação à matriz de filmes biodegradáveis.

4.2.12. Propriedade térmica

A análise térmica de filmes biodegradáveis é crucial para avaliar suas propriedades de estabilidade e resistência ao calor, como a temperatura de fusão, degradação e cristalização.

4.2.12.1. Termogravimetria (TGA)

A estabilidade térmica dos filmes foi analisada por meio de Análise Termogravimétrica (TGA) no Laboratório de Biocombustíveis, na - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, utilizando o equipamento Shimadzu TGA-51. Cerca de 20 mg da amostra de embalagem foi colocada em um cadinho de alumínio e aquecida de 25 a 600 °C, com uma taxa de aquecimento de 10 °C/min, sob fluxo contínuo de nitrogênio a 150 mL/min (Sajin et al., 2022).

5. Análise Estatística

Os resultados foram expressos como médias das replicatas acompanhadas de seus respectivos desvios padrão. A normalidade dos dados e a homogeneidade das variâncias foram verificadas, seguidas da aplicação da análise de variância (ANOVA). A comparação entre as médias foi realizada utilizando o Teste de Tukey, com nível de significância de 5%. Todas as análises estatísticas foram conduzidas por meio do software SPSS versão 15.0 para Windows (SPSS Inc., EUA).

6. Resultados e discussão

6.1. Caracterização da farinha da casca de banana

6.1.1 Análise Físico-Química

6.1.1.1 Umidade, Cinzas e Atividade de água (AW)

No presente estudo, a farinha obtida de cascas de banana prata madura apresentou um teor de umidade de $7,72 \pm 0,70\%$, atendendo aos limites estabelecidos pela ANVISA (2005), que estipula um máximo de 15% para farinhas. Níveis inferiores a 10% são preferíveis, pois garantem maior estabilidade microbiológica e preservação da qualidade do produto. Em comparação, Silva (2020) encontrou um teor de umidade de $19,03 \pm 0,20\%$ em farinhas de casca de banana prata, um valor significativamente superior ao observado neste estudo. Já Arquelau reportou um teor de $6,48 \pm 0,10\%$ para a mesma variedade, um resultado ligeiramente inferior, mas igualmente favorável para estabilidade microbiológica.

A literatura reforça a importância de baixos teores de umidade para prevenir a deterioração de produtos alimentícios. Porcu (2016a) identificou teores em torno de 13% em farinhas provenientes de resíduos de frutas, enquanto Huang et al. (2009) destacam que valores abaixo de 10% são ideais para inibir o crescimento de fungos. Além disso, níveis reduzidos de umidade diminuem a carga microbiana (Asamudo et al., 2017) e minimizam a produção de aflatoxinas (Zahra et al., 2019), reforçando a relevância de limitar a quantidade de água livre no produto.

Quanto aos teores de cinzas, o presente estudo identificou um valor de $9,74 \pm 0,05\%$, evidenciando uma composição mineral superior aos dados de Silva (2020), que reportou $6,31 \pm 0,07\%$ para farinhas de casca de banana prata. Arquelau, por sua vez, observou $6,99 \pm 0,06\%$, um valor levemente superior ao de Silva, mas ainda abaixo do encontrado no presente estudo. Esses resultados indicam que a casca de banana madura possui maior concentração de minerais em comparação à variedade prata, ressaltando seu potencial para aplicações nutricionais e industriais.

A atividade de água (Aw) também é um parâmetro determinante para a estabilidade microbiológica e qualidade de produtos alimentícios. Neste estudo, a farinha apresentou um valor de Aw de $0,428 \pm 0,01$, considerado adequado para limitar a proliferação de microrganismos, como fungos e bactérias. Valores inferiores a 0,50 também reduzem significativamente a atividade enzimática e a oxidação lipídica,

principais causas de deterioração em alimentos (Labuza, 1970; Food Safety Brazil, 2023). Esse controle é particularmente importante em produtos destinados ao contato com alimentos, onde a conservação e a segurança microbiológica são essenciais.

Os resultados obtidos neste estudo para umidade, cinzas e atividade de água estão alinhados com os dados de Alcantara, Castilho e Clemente (2014b), que utilizaram farinha de casca de banana madura dos cultivares Maçã e Prata para fortificar pães. A combinação de baixos teores de umidade e atividade de água com elevados teores de cinzas destaca o valor nutricional e funcional da farinha de casca de banana madura. Esses achados evidenciam sua viabilidade como alternativa promissora tanto para o enriquecimento de alimentos fortificados quanto para atender às demandas da indústria de embalagens sustentáveis, devido às suas propriedades físico-químicas e microbiológicas

6.1.1.2 Análise de minerais

A análise elementar da farinha de casca de banana madura no presente estudo revelou concentrações significativas de potássio ($2790,78 \pm 67,52$ (mg.100 g⁻¹)), sódio ($209,90 \pm 54,64$ (mg.100 g⁻¹)) e magnésio ($46,06 \pm 20,34$ (mg.100 g⁻¹)), indicando um perfil nutricional que pode agregar valor à produtos alimentícios, especialmente pela presença elevada de potássio. A Tabela 10 apresenta os valores detalhados para cada mineral identificado na amostra analisada.

Tabela 10. Teores de minerais na farinha de casca de banana

Minerais	Concentração de Minerais (mg.100g ⁻¹)		
Na	209,90 ± 54,64	Ca	212,58 ± 19,64
Mg	46,06 ± 20,34	Mn	10,84 ± 0,40
P	91,84 ± 8,91	Fe	6,06 ± 0,32
S	15,76 ± 1,55	Cu	0,87 ± 0,12
Cl	5,62 ± 4,87	Zn	3,08 ± 0,07
K	2790,78 ± 67,52	Rb	4,66 ± 0,23

Legenda: Na: Sódio; Mg: Magnésio; P: Fósforo; S: Enxofre; Cl: Cloro; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mn: Manganês; Fe: Ferro; Cu: Cobre; Zn: Zinco; Rb: Rubídio; Sr: Estrôncio.

A análise dos resultados obtidos para a farinha de casca de banana evidencia o potássio, com concentração média de 2790,78, mg.100g⁻¹ destacando-se como o mineral mais abundante. Este teor é relevante para a saúde cardiovascular e a regulação da pressão arterial, conforme indicado por (KUMAR, 2017), que enfatizam a importância do potássio na manutenção do potencial eletrolítico, regulação do pH, sinalização celular e condução de impulsos nervosos. Comparando com (HASSAN et al., 2018), que reportaram um teor consideravelmente menor de potássio em cascas de banana verde (4,39 mg/g), os resultados deste estudo sublinham a viabilidade da farinha de casca de banana madura como uma fonte rica desse macromineral.

Além do potássio, destacam-se o sódio (209,90 (mg.100 g⁻¹)), o cálcio (212,58 (mg.100 g⁻¹)) e o magnésio (46,06 (mg.100 g⁻¹)). O magnésio, conhecido por suas funções críticas na saúde óssea e muscular, atua como cofator em diversas reações bioquímicas essenciais, como corroborado por (RONDANELLI et al., 2021) e (LU et al., 2020). Embora a quantidade de magnésio presente na farinha esteja abaixo das recomendações para dietas voltadas ao fortalecimento ósseo, estudos como o de (RONDANELLI et al., 2021) indicam que a combinação com outras fontes ricas em magnésio pode proporcionar um equilíbrio nutricional mais completo. Níveis adequados desse mineral contribuem significativamente para a densidade mineral óssea e a redução de fraturas, especialmente quando associado a outros nutrientes essenciais (RONDANELLI et al., 2021; U. F. HASSAN et al., 2018). Além disso, o magnésio desempenha um papel fundamental na mineralização óssea em todas as idades (EFSA PANEL ON DIETETIC PRODUCTS, 2013).

O cálcio desempenha um papel fundamental na saúde óssea e dentária, como documentado por Alshehry (2022), que investigou a adição de farinha de casca de banana em produtos alimentícios, como biscoitos enriquecidos. Essa aplicação evidencia o potencial da farinha de casca de banana como ingrediente valioso para a suplementação mineral acessível e nutricionalmente rica.

Além do cálcio, outros minerais presentes na farinha de casca de banana, como ferro (6,06 mg/100 g), manganês (10,84 mg/100 g) e zinco (3,08 mg/100 g), também contribuem significativamente para o perfil nutricional. Esses minerais desempenham funções essenciais, como suporte ao sistema imunológico, atividade antioxidante e promoção do crescimento celular (Kehl-Fie; Skaar, 2010; Marchetti et al., 2020).

No contexto de frutas cítricas, Tcheco et al. (2019) relataram que as cascas apresentam concentrações mais elevadas de minerais em comparação à polpa. Por

exemplo, laranjas contêm 154 mg/100 g de potássio, 41,9 mg/100 g de cálcio e 25,3 mg/100 g de fósforo em suas cascas. Já as toranjas vermelhas destacaram-se com 63,9 mg/100 g de cálcio e 3,88 mg/100 g de sódio, enquanto a lima-chave apresentou 1,99 mg/100 g de sódio e 31,8 mg/100 g de cálcio. Esses resultados reforçam a relevância das cascas como fontes nutricionais valiosas, com aplicações industriais e alimentares.

Estudos também demonstram que os teores de nutrientes e compostos bioativos na farinha de casca de banana são influenciados pelos métodos de processamento e secagem, impactando diretamente a biodisponibilidade dos nutrientes (Muhammad Ansari et al., 2023; Silva et al., 2020b; Vu; Scarlett; Vuong, 2018). Essas variações destacam a necessidade de otimizar os métodos de produção para preservar a qualidade nutricional e funcional da farinha de casca de banana.

6.1.2.1 Compostos Fenólicos

. O teor de compostos fenólicos totais (CFT) obtido neste estudo, de $564,51 \pm 28,40$ mg EAG/100 g, é expressivamente superior ao relatado por Rebello et al. (2014a), que observaram um valor de 29,2 mg EAG/100 g para a casca de banana Cavendish madura. Os autores utilizaram uma mistura de solventes composta por metanol, água e ácido fórmico (50:48,5:1,5 v/v/v) no processo de extração. Uma possível hipótese para o resultado expressivamente menor encontrado por Rebello et al. pode estar relacionada à metodologia de extração empregada, uma vez que a escolha e a proporção dos solventes utilizados desempenham um papel crucial na eficiência de extração e preservação dos compostos fenólicos bioativos. Essas diferenças metodológicas podem impactar diretamente a recuperação dos compostos fenólicos e justificar a discrepância entre os valores obtidos nos dois estudos.

Em um estudo semelhante, (ARQUELAU, (2018) analisou cascas de banana prata no estágio 7 de maturação e encontrou 83,05 mg EAG/100 g utilizando uma extração com metanol/acetona após a secagem em estufa a 60 ± 5 °C por 24 horas. Apesar de as farinhas serem obtidas de cascas de bananas da mesma variedade (Prata), esta diferença nos teores de CFT pode estar relacionada com variações de cultivo, tipo de solo e condições de extração (SILVA et al., 2020b).

Estudos que analisaram a farinha de casca de banana verde, como o de (LOYOLA, (2019), reportaram valores superiores de CFT (690,49 mg EAG/100 g), indicando que a maturação influencia significativamente os níveis de compostos

fenólicos. Bananas verdes tendem a apresentar maiores concentrações de compostos fenólicos devido ao fato de que, durante o amadurecimento, esses compostos se degradam ou se transformam em outras substâncias, resultando em uma redução dos teores totais de compostos bioativos (CASTELO-BRANCO et al., 2017; REBELLO et al., 2014a).

Por outro lado, (NASCIMENTO et al., 2018) relataram 183,85 mg EAG/100 g em farinha de bananas maduras, valores estes inferiores aos obtidos no presente trabalho. Esses dados comprovam a eficiência do processo de extração utilizado, evidenciando o potencial da farinha de casca de banana como uma matéria-prima de alto valor agregado para aplicações tecnológicas e industriais.

6.1.2.2. Atividade Antioxidante

O método ABTS revelou uma capacidade antioxidante de 28,05 $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$, um valor superior aos encontrados em estudos anteriores, como o de Arquelaú (2018), que relatou 3,14 $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$, e Silva et al. (2020a), que identificaram 13,14 $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$. Esses resultados demonstram a expressiva capacidade antioxidante da farinha de casca de banana (FCB), destacando seu potencial como uma matéria-prima de alto valor agregado (Arquelaú, 2018; Silva et al., 2020a).

No método FRAP, a FCB apresentou uma capacidade antioxidante de $51,11 \pm 4,31 \mu\text{M}$ de sulfato ferroso. g^{-1} , valor superior ao reportado por Silva et al. (2020ac), que foi de 38,01 $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$. Esses dados reforçam a contribuição dos compostos fenólicos na atividade antioxidante da FCB. Bashmil et al. (2021a) também enfatizam a importância dos compostos fenólicos e da atividade antioxidante das farinhas de casca de bananas, devido à sua capacidade de neutralizar radicais livres e reduzir o estresse oxidativo, fatores fundamentais para aplicações tecnológicas e na indústria alimentícia.

O método DPPH resultou em um valor de EC50 de $4137,01 \pm 319,19 \text{ g}$ de amostra/g DPPH, em concordância com os dados de Silva Carvalho e Conti-Silva (2018), que reportaram 3913 g de amostra/g DPPH. Valores de EC50 nessa faixa indicam que a farinha de casca de banana apresenta uma capacidade antioxidante intermediária, exigindo uma quantidade significativa de amostra para reduzir 50% dos radicais DPPH. Melhorias nos processos de extração poderiam aumentar essa eficiência antioxidante, ampliando suas possíveis aplicações tecnológicas. A

variabilidade nos resultados obtidos entre diferentes estudos e métodos reforça a necessidade de padronizar as metodologias de análise.

A farinha de casca de banana madura obtida no presente estudo apresentou potencial de compostos fenólicos para uso em alimentos funcionais, como barras de cereais, biscoitos, filmes e revestimentos comestíveis, devido às suas propriedades antioxidantes naturais, que são preferidas aos aditivos sintéticos. Esses compostos ajudam a prevenir doenças crônicas e fortalecem o sistema imunológico (KUMAR, 2017; (BASHMIL et al., 2021a).

A farinha de casca de banana madura obtida no presente estudo apresentou uma significativa concentração de compostos fenólicos, tornando-se uma alternativa promissora para aplicações alimentícias, como barras de cereais, biscoitos, filmes e revestimentos comestíveis. Suas propriedades antioxidantes naturais se destacam em relação aos aditivos sintéticos, auxiliando na preservação da qualidade dos alimentos e na proteção contra processos oxidativos (Kumar, 2017; Bashmil et al., 2021a).

Entretanto, bananas maduras geralmente apresentam teores reduzidos de compostos fenólicos devido à degradação natural associada ao estágio de maturação, evidenciando a relevância desse fator para seu aproveitamento em diferentes aplicações. Além disso, a eficiência na extração de compostos fenólicos depende diretamente do solvente e do método de processamento utilizado. Estudos indicam que solventes como acetona potencializam a extração desses compostos, ressaltando a importância de padronizar metodologias para otimizar o rendimento e a atividade antioxidante da farinha de casca de banana (Bashmil et al., 2021; Kumar, 2017; Loyola, 2019; Morais, 2015; Martins, 2024).

Os resultados deste estudo reafirmam o potencial da farinha de casca de banana madura como uma matéria-prima versátil e de alto valor agregado para o desenvolvimento de alimentos e materiais sustentáveis.

6.2. Caracterização do Extrato de *Eriobotrya japonica*

6.2.1 Análise Físico-química do Extrato

6.2.2 Análise de minerais

A análise mineral do extrato das folhas de *Eriobotrya japonica*, conduzida neste estudo, revelou uma composição notavelmente rica e diversificada de micronutrientes, com ênfase nos elevados teores de potássio ($6097,38 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \pm 578,43$), cálcio ($1104,97 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \pm 125,10$) e magnésio ($351,53 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \pm 13,86$), conforme

apresentado na Tabela 11. Esses resultados são corroborados por estudos prévios que também destacam o potencial nutricional das folhas dessa espécie (HWANG et al., 2010a; KHOUYA et al., 2022b; LEE; KIM, 2009).

Tabela 11. Teores de minerais no extrato das folhas de *Eriobotrya japonica*

Minerais	Concentração de Minerais (mg.100g ⁻¹)		
Na	1758,27 ± 371,31	Ca	1104,97 ± 125,10
Mg	351,53 ± 13,86	Mn	14,71 ± 2,01
P	228,81 ± 46,44	Fe	6,79 ± 0,44
S	159,87 ± 29,18	Cu	0,81 ± 0,27
Cl	117,60 ± 13,53	Zn	12,00 ± 2,41
K	6097,38 ± 578,43	Rb	18,03 ± 3,47

Legenda: Na: Sódio; Mg: Magnésio; P: Fósforo; S: Enxofre; Cl: Cloro; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mn: Manganês; Fe: Ferro; Cu: Cobre; Zn: Zinco; Rb: Rubídio; Sr: Estrôncio.

Em seus estudos, Khouya et al. (2022) realizaram uma avaliação abrangente da composição nutricional das folhas de *Eriobotrya japonica*, ressaltando a abundância de minerais essenciais como potássio (9538 mg.100 g⁻¹), cálcio (2675.0 mg.100 g⁻¹), magnésio (279.6 mg/10 mg.100 g⁻¹), ferro (0.5 mg.100 g⁻¹) e sódio (40 mg.100 g⁻¹), além de fibras, polifenóis e vitaminas. Os achados do presente estudo reforçam a relevância das folhas de *Eriobotrya japonica* como uma matriz nutricional rica e versátil, para ser utilizada alinhando minerais a compostos ativos em consonância com as investigações de Khouya et al., (2022a), Hwang et al., (2010^a) e (LIU et al., 2016b).

De forma complementar, Hwang et al. (2010) identificaram teores ainda mais elevados de potássio (1244,90 (mg.100 g⁻¹)), cálcio (1892,60 (mg.100 g⁻¹)), manganês (17,02 (mg.100 g⁻¹)), ferro (27,67 (mg.100 g⁻¹)), cobre (0,57 (mg.100 g⁻¹)) e zinco (4,08 (mg.100 g⁻¹)), em extratos de folhas de *Eriobotrya japonica*, além de aminoácidos e compostos antioxidantes, ampliando suas aplicações em suplementos

alimentares voltados para o suporte imunológico e a mitigação do estresse oxidativo (HWANG et al., 2010b; KHOUYA et al., 2022a).

A adição do extrato de nêspira, reconhecido por seu rico conteúdo em minerais como potássio, cálcio e magnésio, agrega valor aos filmes obtidos. Esses minerais não apenas conferem propriedades funcionais ao material, mas também potencializam sua aplicabilidade em filmes comestíveis e embalagens bioativas. Essa combinação contribui para melhorar a qualidade dos alimentos embalados, além de atender às demandas por soluções mais sustentáveis e inovadoras no setor alimentício (Hwang et al., 2010b; Shan et al., 2020; Zahra, 2019).

Portanto, as concentrações de micronutrientes identificadas nos extratos das folhas de *Eriobotrya japonica*, tanto neste estudo quanto em pesquisas anteriores, destacam o potencial desta planta como um recurso valioso para o desenvolvimento de formulações alimentícias e terapêuticas voltadas à promoção da saúde e do bem-estar.

6.2.3 Compostos Fenólicos

Os resultados deste estudo evidenciam concentrações expressivas de compostos fenólicos totais (CFT) em extratos das folhas de *Eriobotrya japonica*, com valores de $4367,48 \pm 44,43$ mg EAG/100 g no extrato bruto, superiores a diversos relatados na literatura. Por exemplo, Pawłowska et al. (2023) identificaram 25 compostos fenólicos distintos em folhas e frutos de *E. japonica*, com teores de CFT em folhas de $47,99 \pm 0,11$ mg EAG/100 g, muito abaixo dos encontrados neste estudo. Esses compostos são associados a uma notável atividade antioxidante, com aplicações potenciais em nutracêuticos e cosméticos voltados à proteção celular e ao retardamento do envelhecimento (Ferrerres et al., 2009).

Maher, Yassine e Sofiane (2015) também relataram teores de CFT em *E. japonica* entre 4750 mg EAG/100 g e 5490 mg EAG/100 g, valores próximos aos obtidos aqui. Esses autores empregaram uma metodologia mais complexa, baseada em extrações sequenciais com solventes de polaridades variadas (água, metanol, etanol, acetato de etila, n-butanol e diclorometano), permitindo maior detalhamento fitoquímico e isolamento de compostos específicos. Em contraste, o presente estudo adotou uma abordagem mais prática e direta, direcionada à quantificação de antioxidantes totais, o que pode explicar variações nos resultados. Essas diferenças

refletem não apenas o impacto dos métodos de extração, mas também o tipo de solvente, processo de secagem e estágio de maturação das folhas.

Comparativamente a outras espécies, os teores de CFT encontrados em *E. japonica* são substancialmente superiores. Por exemplo, Costa et al. (2022) reportaram 1349,8 mg EAG/100 g em *Hibiscus sabdariffa*, enquanto Rababah et al. (2011) observaram valores entre 52,8 mg EAG/100 g (*Salvia officinalis*) e 876,9 mg EAG/100 g (*Hibiscus sabdariffa*). Em hortaliças avaliadas por Mazzucotelli et al. (2018), os teores de CFT variaram entre 39,6 e 148,5 mg EAG/100 g, reforçando a riqueza fenólica de *E. japonica* em comparação a outras plantas amplamente estudadas.

A quantificação de CFT, realizada com o método de Folin-Ciocalteu, demonstrou sua eficácia neste estudo, mas a técnica é suscetível a interferências de compostos como carboidratos, ácidos orgânicos e clorofila, que podem superestimar os resultados (Huang et al., 2005; Oliveira, 2015). Para minimizar essas interferências, foi realizada uma purificação com carvão ativado (CA), adaptada de Peres et al. (2009), com o objetivo de remover a clorofila. Embora eficaz, o CA também reduziu os teores de CFT para $926,53 \pm 29,17$ mg EAG/100 g, devido à remoção concomitante de flavonoides e outros compostos bioativos (Bimakr & Ganjloo, 2016; Essien et al., 2020).

Alternativas como solventes específicos (acetona e éter de petróleo) e extração com CO₂ supercrítico têm sido propostas para a remoção seletiva da clorofila, preservando compostos fenólicos essenciais (Arumugham et al., 2021). Comparado a outras espécies ricas em compostos fenólicos, como *Tropaeolum majus* (4036,65 mg EAG/100 g) e *Rumex acetosa* (3028,96 mg EAG/100 g) (Martins, 2024), os teores de *E. japonica* após purificação são inferiores, evidenciando o impacto do CA.

Apesar das limitações associadas à purificação, *Eriobotrya japonica* mantém seu valor como fonte bioativa, apresentando alta concentração de compostos fenólicos e propriedades antioxidantes relevantes. Esses achados reforçam seu potencial para aplicações em produtos alimentícios e cosméticos voltados à promoção da saúde e proteção contra o estresse oxidativo. Contudo, há necessidade de desenvolver metodologias menos agressivas, que preservem os compostos bioativos e maximizem a eficiência de extração, garantindo o pleno aproveitamento das folhas de *Eriobotrya japonica* como ingrediente funcional de alto valor agregado.

6.2.4 Atividades Antioxidante

A análise da atividade antioxidante é fundamental para avaliar o potencial bioativo dos compostos presentes em plantas, fornecendo informações valiosas sobre a capacidade de neutralização de radicais livres e proteção contra danos oxidativos.

Neste estudo, a capacidade antioxidante das folhas de *Eriobotrya japonica* foi avaliada pelos métodos DPPH, FRAP e ABTS, cada um oferecendo uma perspectiva única sobre a eficácia antioxidante do extrato. Esses métodos medem a capacidade dos compostos bioativos em neutralizar radicais livres e reduzir íons, sendo essenciais para entender o potencial terapêutico desses extratos.

Para o método DPPH, que utiliza o radical 2,2-difenil-1-picrilidrazila como reagente cromogênico, os valores de IC50 obtidos para os extratos de *Eriobotrya japonica* (322,54 g amostra/g DPPH) destacam-se como superiores em capacidade antioxidante quando comparados a extratos de Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs). Em estudos conduzidos por Martins (2024), foram relatados valores de IC50 inferiores para espécies como azedinha (*Rumex acetosa L.*) (172,21 g amostra/g DPPH), Capuchinha (*Tropaeolum majus*) (196,84 g amostra/g DPPH) e Peixinho (*Stachys byzantina*) (244,68 g amostra/g DPPH). Esses resultados sublinham o elevado potencial antioxidante das folhas de *E. japonica*, mesmo em comparação com plantas reconhecidas pelo alto teor de compostos bioativos.

Entretanto, apesar do destaque dos resultados obtidos, é fundamental observar a escassez de estudos disponíveis na literatura que investiguem os compostos antioxidantes de *E. japonica* utilizando a mesma unidade de medida empregada neste trabalho. A ausência de padronização na apresentação dos valores de IC50 representa uma barreira para comparações mais abrangentes e robustas entre diferentes espécies vegetais. Assim, torna-se evidente a necessidade de pesquisas futuras que adotem métricas uniformes, possibilitando uma melhor avaliação do potencial antioxidante de *E. japonica* e seu posicionamento relativo no contexto de outras plantas com propriedades bioativas.

No presente estudo, o extrato das folhas de *Eriobotrya japonica* apresentou uma capacidade redutora por FRAP de $793 \pm 45,64 \mu\text{mol Fe (II)/g}$, destacando-se como superior aos valores reportados por VIEIRA et al., (2018). Esses autores avaliaram o impacto da temperatura de desidratação nas folhas de *E. japonica* e observaram capacidades redutoras de $91,27 \pm 0,85 \mu\text{mol Fe (II)/g}$ em folhas secas a 40°C e $59,16 \pm 4,12 \mu\text{mol Fe (II)/g}$ a 60°C .

Os resultados deste estudo destacam a eficiência do método de extração empregado, que favoreceu a retenção de compostos bioativos com elevada atividade antioxidante. Embora o método utilizado tenha demonstrado resultados promissores, não foi possível afirmar categoricamente que as metodologias foram otimizadas, dado que não houve comparação direta com métodos alternativos. Ainda assim, os achados ressaltam o potencial das folhas de *Eriobotrya japonica* como uma fonte relevante de antioxidantes naturais, especialmente quando comparadas a espécies mais conhecidas.

No ensaio ABTS, o extrato bruto de folhas de *Eriobotrya japonica* apresentou uma capacidade antioxidante de $126,67 \pm 2,57 \mu\text{M Trolox/g}$, indicando uma elevada eficiência antioxidante. Para fins de comparação, Vieira et al. (2018) relataram valores inferiores em folhas secas de *Eriobotrya japonica* ($54,24 \mu\text{M Trolox/g}$ a 40°C e $35,17 \mu\text{M Trolox/g}$ a 60°C). Adicionalmente, estudos em frutos mais conhecidos, como *Hibiscus sabdariffa* (Costa et al., 2022), reportaram valores em torno de $68,9 \mu\text{M Trolox/g}$, enquanto *Vitis vinifera* (uvas) apresentou $72,5 \mu\text{M Trolox/g}$ (Martínez et al., 2017). Esses dados reforçam que o extrato de *Eriobotrya japonica* não apenas apresenta alta capacidade antioxidante, mas também se posiciona como uma alternativa competitiva frente a outras espécies amplamente consumidas.

Esses dados indicam que o método de extração utilizado no presente estudo foi mais eficiente na preservação de compostos bioativos com significativo potencial antioxidante. Os resultados ressaltam o valor das folhas de *Eriobotrya japonica* como uma fonte consistente de antioxidantes naturais, evidenciando sua aplicabilidade em formulações funcionais e cosméticas direcionadas à promoção da saúde e à proteção contra o estresse oxidativo.

6.2.5 Atividade Antimicrobiana

A resistência bacteriana representa uma preocupação crescente na segurança alimentar, especialmente devido aos desafios de preservação da qualidade e segurança microbiológica dos produtos alimentícios. Nesse cenário, compostos naturais derivados de extratos vegetais e fitoquímicos têm se destacado como alternativas promissoras, com potencial antimicrobiano capaz de contribuir para a conservação de alimentos (BONA et al., 2014).

A Tabela 12 apresenta os resultados detalhados dos ensaios, demonstrando o comportamento dos extratos testados nas técnicas de microdiluição e difusão em

ágar, e evidenciando seu possível papel na segurança e conservação de produtos alimentícios.

Tabela 12. Teste de concentração inibitória mínima (CIM) por microdiluição e teste de difusão em ágar por disco dos extratos das folhas de *E. japonica* contra *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* e *Cândida albicans*.

Teste	Microrganismos		
	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Cândida albicans</i>
Concentração Inibitória Mínima (CIM)	> 7,8 mg/mL	> 7,8 mg/mL	7,8mg/mL
Difusão em Ágar por Disco	< 6 mm	< 6mm	< 6mm

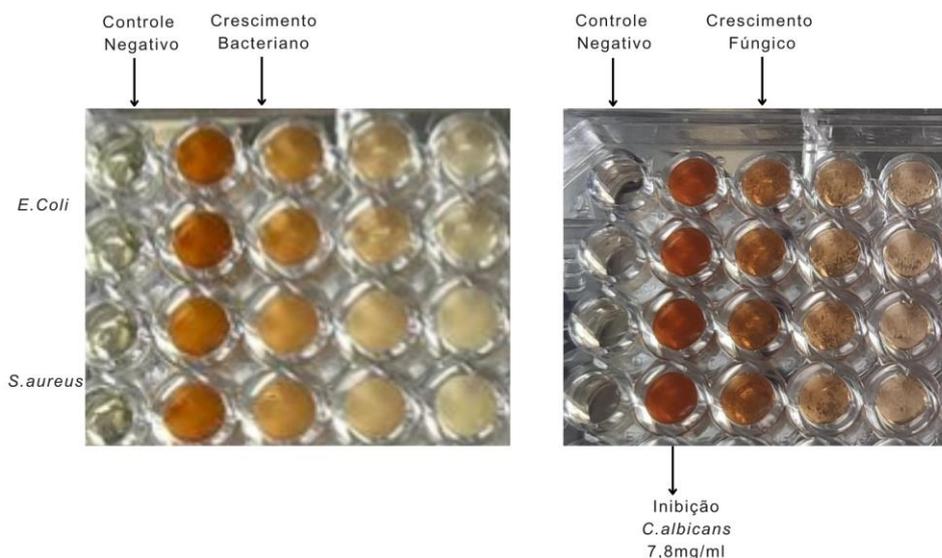
Valor > 7,8 mg/mL (*S. aureus* e *E. coli*) – Não houve inibição do crescimento; Valor = 7,8 mg/mL (*C.albicans*) – Houve inibição do crescimento; Valor < 6 mm – Microorganismo resistente ao Extrato.

6.2.6 Concentração Inibitória Mínima

O teste de Concentração Inibitória Mínima (CIM) realizado em microplacas de 96 poços é amplamente considerado o método padrão-ouro para a quantificação da atividade antimicrobiana, pois permite a determinação precisa da menor concentração necessária para inibir o crescimento microbiano (VEIGA et al., 2019; WIEGAND; HILPERT; HANCOCK, 2008). No presente estudo, o extrato de *E. japonica* não apresentou inibição significativa contra as bactérias *S. aureus* e *E. coli* nas concentrações testadas, sugerindo uma ausência de efeito antibacteriano em baixas concentrações. No entanto, para o fungo *C. albicans*, o extrato demonstrou capacidade inibitória com CIM de 7,8 mg/mL, como demonstrado na Figura 15. Nos poços do teste antimicrobiano para *Candida albicans*, a concentração inibitória mínima (CIM) de 7,8 mg/mL foi identificada pela ausência de turbidez e pequenos depósitos, observados sob um feixe de luz. Poços com concentrações inferiores apresentaram leve turbidez, indicando crescimento fúngico, enquanto os controles negativos permaneceram completamente claros, e os controles positivos exibiram alta turbidez,

confirmando o crescimento. Esses resultados demonstram que o extrato foi eficaz em inibir *C. albicans* a partir dessa concentração.

Figura 15. Atividade Antibacteriana e Antifúngica: Inibição em Teste de CIM



Fonte: Própria Autora, 2024

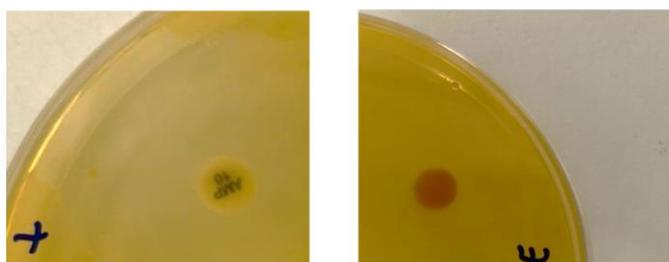
Em uma investigação realizada por (Zhou et al., (2019), o extrato de folhas de *Eriobotrya japonica* também mostrou atividade antimicrobiana limitada contra bactérias, com valores de CIM acima de 5 mg/mL, refletindo uma eficácia restrita. Silva, et al. (2020) verificaram que o extrato das folhas de *Eriobotrya japonica* apresentou atividade antimicrobiana contra bactérias Gram-positivas *Staphylococcus aureus*, e não para Gram-negativas *Escherichia coli*, corroborando a literatura que frequentemente indica que extratos vegetais tendem a ter menor eficácia contra bactérias Gram-negativas devido à complexidade estrutural de suas membranas celulares, que dificultam a penetração de compostos bioativos.

Comparativamente, os resultados do presente estudo e de (Zhou et al., (2019) demonstram que o extrato de *E. japonica* exibe uma atividade antimicrobiana seletiva, demonstrando maior efeito inibitório contra os fungos *C. albicans* do que contra bactérias, especialmente Gram-negativas. Essas observações enfatizam a importância da especificidade microbiana e das características fitoquímicas dos extratos no direcionamento de seu uso potencial, sugerindo que a *E. japonica* pode ter uma aplicação mais promissora no controle de infecções fúngicas do que bacterianas.

6.2.7. Disco de Difusão em Ágar

No presente estudo, os halos observados foram menores que 6 mm, sugerindo uma atividade antimicrobiana fraca ou insignificante dos extratos de *Eriobotrya japonica*, o que pode indicar baixa difusibilidade ou eficácia dos compostos bioativos contra os microrganismos testados conforme demonstrado na figura 16.

Figura 16. Avaliação da Atividade Antimicrobiana de Extratos Vegetais



Fonte própria autora, 2024.

Esses resultados estão alinhados com observações de (Dülger et al., (2002), que utilizaram extratos aquoso e relataram halos inferiores a 6 mm em testes de difusão com *Verbascum*, planta ornamental originária da Europa, e atribuíram essa resposta à estrutura celular das bactérias gram-negativas, que dificulta a penetração de compostos bioativos menos lipofílicos.

Espinel-Ingroff et al., (2007) realizaram uma adaptação do método de difusão em disco para fungos filamentosos, utilizando ágar Mueller-Hinton simples, que demonstrou ser o meio ideal para promover o crescimento das espécies testadas e para proporcionar maior reprodutibilidade dos diâmetros dos halos de inibição, com correlação forte com CIMs para quatro dos cinco antifúngicos avaliados. Na presente investigação, entretanto, não houve formação de halos de inibição, possivelmente em decorrência da baixa difusão dos compostos bioativos no ágar, uma limitação também observada por (King, Dykes; e Kristianti, (2008).

King et al. (2008), em seu estudo sobre extratos vegetais, destacaram que extratos naturais podem ter sua atividade antimicrobiana subestimada no método de difusão em disco devido à limitada capacidade de difusão no meio. Diante disso,

recomenda-se testar concentrações superiores a 7,8 mg/mL, ponto em que ocorreu a inibição mínima (CIM), para assegurar uma avaliação mais robusta da eficácia antimicrobiana neste estudo. Outro exemplo relevante é o estudo de (NWEZE; MUKHERJEE; GHANNOUM, (2010) , que adaptaram o método de difusão em disco para dermatófitos, revelando que a técnica é adequada para ensaios de susceptibilidade antifúngica em diferentes grupos de fungos, o estudo dos demonstrou a eficácia de compostos químicos em inibir microrganismos, em contrapartida os resultados do presente estudo indicaram que os filmes de *Eriobotrya japonica* não possuem atividade antimicrobiana detectável nas condições testadas. São necessários mais estudos a fim de otimizar fatores como composição e difusão de compostos em matrizes sólidas, para futuras investigações de potenciais antimicrobianos. Pereira et al., (2022b) também revisaram métodos de atividade antimicrobiana e confirmaram a utilidade da difusão em disco para triagens iniciais, embora recomendem a microdiluição como abordagem quantitativa mais confiável para determinar a CIM e a eficácia real dos extratos.

Comparando os resultados do presente estudo com os de Espinel-Ingroff et al. (2007), observa-se um contraste na eficácia dos compostos testados. Enquanto Espinel-Ingroff et al. relataram halos de inibição significativos, associados a baixas CIMs em fungos filamentosos, dermatófitos e bactérias, os extratos de *Eriobotrya japonica* apresentaram atividade antimicrobiana limitada. Essa limitação pode ser atribuída à estrutura química dos compostos bioativos, que pode influenciar sua capacidade de atravessar barreiras celulares, como a membrana externa de bactérias Gram-negativas.

A ausência de resposta antimicrobiana contra essas bactérias, conforme observado por Dülger et al. (2002) e Silva et al. (2020), reforça a tendência de maior eficácia dos extratos vegetais contra bactérias Gram-positivas, cuja parede celular, mais simples e sem membrana externa, permite maior penetração de compostos bioativos. Esses resultados destacam que a eficácia dos extratos vegetais não depende apenas da presença de compostos bioativos, mas também de suas propriedades químicas, como polaridade e peso molecular, que influenciam a interação com diferentes tipos de células microbianas.

Essa atividade seletiva parece ser influenciada tanto pela estrutura celular dos patógenos quanto pela composição fitoquímica dos extratos. Em resumo, a técnica de difusão em disco em ágar é útil para triagens iniciais de compostos antimicrobianos;

porém, os resultados obtidos com extratos de *E. japonica* neste trabalho sugerem a necessidade de utilizar métodos complementares para uma caracterização quantitativa mais robusta, permitindo identificar condições específicas de aplicação e melhor compreender a atividade antimicrobiana dos compostos testados em diferentes tipos de microrganismos.

6.3 Caracterização dos Filmes Comestíveis

O desenvolvimento de filmes comestíveis à base de farinha de casca de banana enriquecida com extrato de *Eriobotrya japonica* representa um avanço significativo na criação de embalagens alimentares sustentáveis, com propriedades mecânicas e de barreira ajustadas às necessidades do setor. Estudos, como o de Silva et al. (2020c), evidenciam que a incorporação de extrato de *E. japonica* em filmes reduziu a resistência à tração e a permeabilidade ao vapor de água, resultando em materiais mais flexíveis e menos permeáveis, características que favorecem a conservação de alimentos embalados.

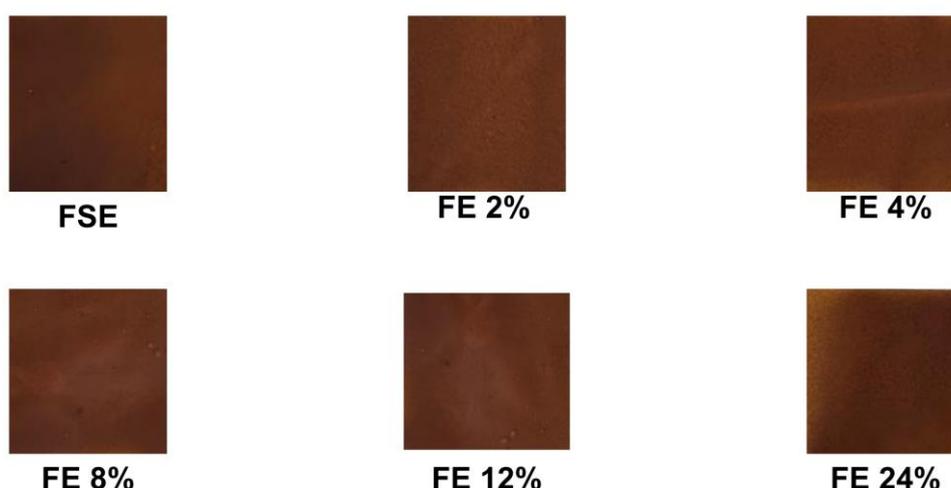
Além disso, a elevada atividade antioxidante conferida pelo extrato melhora a estabilidade térmica dos filmes e reduz processos oxidativos, como demonstrado no estudo de Zhang et al. (2021b). Essa integração de materiais promove a obtenção de filmes biodegradáveis com propriedades mecânicas e funcionais otimizadas, atendendo às crescentes demandas da indústria alimentícia por soluções que aliam eficiência técnica à sustentabilidade ambiental (Bebartta et al., 2020).

Os filmes obtidos no presente estudo apresentaram características destacadas, como estrutura uniforme, flexibilidade aprimorada e ausência de bolhas visíveis. A homogeneidade foi alcançada por meio de modificações no processamento, especialmente na etapa de filtração, garantindo superfícies lisas e contínuas (Kno; Ingrid Lessa Leal; Tatiana Barreto Rocha Nery, 2021; Silva, 2020). O amido, utilizado como matriz polimérica principal, desempenhou um papel essencial nessas características, contribuindo para a formação de uma estrutura coesa e flexível devido à sua capacidade de formar géis estáveis e interagir com os outros componentes da formulação. Essas propriedades foram potencializadas pela adição de farinha da casca de banana, que promoveu maior integridade estrutural.

As avaliações visuais e táteis confirmaram a flexibilidade e a ausência de trincas, mesmo após a remoção das formas de silicone, evidenciando a robustez dos filmes e sua viabilidade para uso em embalagens alimentares. Além disso, a

combinação com extratos antioxidantes não apenas melhorou propriedades específicas, como a flexibilidade, mas também destacou o papel de aditivos bioativos na funcionalidade dos filmes, sem comprometer a opacidade do material (Silva et al., 2020c). Na Figura 17, é possível observar as características supracitadas nos seis filmes desenvolvidos com farinha da casca de banana madura e amido de milho, variando a concentração do extrato das folhas de *E. japonica*.

Figura 17. Foto dos filmes comestíveis produzidos com farinha de casca de banana, amido de milho e extrato de *Eriobotrya japonica*



Fonte: Fotografia da Autora, 2024.

Legenda: FSE: Filme sem Extrato; FE 2%: Filme adicionado de 2% de Extrato de *Eriobotrya...*; FE 4%: Filme com 4% de Extrato; FE 8%: Filme com 8% de Extrato; FE 12%: Filme com 12% de Extrato; FE 24%: Filme com 24% de Extrato.

O uso de farinha de casca de banana como matriz para filmes comestíveis apresenta-se como uma estratégia promissora para o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis, devido à sua composição rica em polissacarídeos, que formam uma estrutura coesa e flexível, e compostos fenólicos, que conferem propriedades antioxidantes. A adição de extratos antioxidantes, como *Eriobotrya japonica*, potencializa a funcionalidade desses filmes ao ampliar a capacidade antioxidante e contribuir para a flexibilidade da matriz, graças à interação dos compostos bioativos com os polissacarídeos, que facilita a formação de uma rede polimérica mais elástica.

Embora essa combinação mantenha a opacidade dos filmes, o impacto na resistência mecânica pode ser atribuído à modificação da matriz estrutural causada

pela interação entre os extratos antioxidantes e os polímeros presentes na farinha de casca de banana, o que pode gerar alterações na coesão molecular (Silva et al., 2020c; Zhang; Li; Jiang, 2020a). Assim, a relação entre os componentes reflete um equilíbrio entre as propriedades funcionais desejadas e as limitações impostas pela formulação, o que deve ser considerado no desenvolvimento de filmes comestíveis com melhor desempenho funcional e estrutural.

6.3.1 Análise físico-química

As análises físico-químicas são essenciais para caracterizar filmes comestíveis, pois avaliam as propriedades que influenciam diretamente sua eficácia como barreiras protetoras e sua estabilidade durante o armazenamento. Essas análises garantem que os filmes atendam às necessidades funcionais e de conservação exigidas pela indústria alimentícia (BOURTOOM et al., 2006).

6.3.1.1 Umidade e cinzas.

A umidade é um fator crítico, pois atua como plastificante natural, proporcionando flexibilidade e evitando a rigidez excessiva dos filmes, o que contribui para sua integridade estrutural e funcionalidade como embalagem (SABERI et al., 2017). Os resultados obtidos neste estudo, conforme apresentados na Tabela 13, revelam propriedades fundamentais para a funcionalidade dos filmes comestíveis biodegradáveis à base de casca de banana e extrato de *Eriobotrya japonica* e sugerem que diferentes concentrações do extrato influenciam significativamente a umidade dos filmes.

Tabela 13- Teores de Umidade e Cinzas em diferentes formulações de filmes comestíveis obtidos de casca de banana, amido de milho e extrato de folhas de nespereira

Filme	Umidade	Cinzas
	(%)	(%)
FSE	20,6 ± 0,37 ^a	6,07 ± 0,15 ^{ab}
FE 2%	17,22 ± 1,6 ^b	6,59 ± 0,35 ^a

FE 4%	13,41 ± 1,3 ^c	6,77 ± 0,22 ^a
FE 8%	11,87 ± 0,92 ^c	6,88 ± 0,18 ^a
FE 12%	13,69 ± 0,43 ^c	6,79 ± 0,22 ^a
FE 24%	18,15 ± 0,58 ^b	5,30 ± 0,61 ^b

FSE: Filme sem Extrato; FE2%: Filme adicionado com 2% de extrato; FE 4%: Filme adicionado com 4% de extrato; FE 8%: Filme adicionado com 8% de extrato. FE12%: Filme adicionado com 12% de extrato; FE24%: Filme adicionado com 24% de extrato. Valores médios ± desvio padrão. Letras iguais em uma mesma coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p > 0,05).

Considerando os filmes como embalagens ativas para conservação de alimentos, as formulações com 4%, 8% e 12% de extrato de *Eriobotrya japonica*, apresentando teores de umidade de 13,41%, 11,87% e 13,69%, respectivamente, destacaram-se como as mais eficientes. Esses valores oferecem uma barreira efetiva ao vapor d'água, mantendo a flexibilidade ideal para embalagens alimentares. Esse comportamento é consistente com Silva (2024), que observou que teores de umidade entre 12% e 15% em filmes à base de subprodutos do azeite são adequados para limitar a permeabilidade ao vapor d'água.

Em contraste, as formulações FSE, FE2 e FE24 apresentaram teores de umidade mais elevados (20,6%, 17,22% e 18,15%, respectivamente), o que pode aumentar a permeabilidade e reduzir a eficácia da barreira contra umidade. A variação ampla entre as formulações de 2% (FE2) e 24% (FE24) pode ser explicada pela maior quantidade de extrato na FE24, que contribui com compostos hidrofílicos, como fenóis, capazes de reter água, aumentando o teor de umidade. Já a formulação FE2 pode ter um teor de umidade elevado devido à menor proporção de extrato, o que reduz a interação entre os componentes hidrofóbicos da matriz e o extrato, favorecendo a retenção de água na matriz do filme.

Esses resultados destacam que a proporção de extrato influencia diretamente o teor de umidade, mas não de forma linear, uma vez que as interações entre os compostos da farinha de casca de banana, o amido e os extratos antioxidantes afetam a capacidade de retenção de água. Assim, compreender essas interações é fundamental para ajustar a formulação de filmes que maximizem a funcionalidade e a barreira ao vapor d'água.

Os teores de cinzas observados nos filmes FE2 (6,59%), FE4 (6,77%), FE8 (6,88%) e FE12 (6,79%) refletem a alta concentração de componentes minerais e inorgânicos presentes na farinha de casca de banana e no extrato vegetal, contribuindo diretamente para a resistência mecânica e a funcionalidade de barreira dos filmes (Syukriani et al., 2021). Nos filmes com concentrações de 8% e 12% de extrato, observou-se uma integração mais eficiente dos minerais na matriz, refletida nos teores de cinzas, enquanto a formulação FE24 apresentou menor eficiência, possivelmente devido à saturação ou diluição dos compostos minerais. Esses resultados sugerem que concentrações moderadas são mais eficazes para balancear funcionalidade e integridade estrutural.

Além dos minerais, o amido desempenha um papel crucial como matriz polimérica principal na formulação dos filmes. Sua escolha como biopolímero deve-se à sua capacidade de formar redes tridimensionais coesas, que proporcionam flexibilidade e estabilidade mecânica aos filmes (Nguyen et al., 2020). O amido interage com os minerais da farinha de casca de banana e os compostos bioativos do extrato de *Eriobotrya japonica*, modulando propriedades como permeabilidade ao vapor d'água, resistência mecânica e elasticidade. Essa interação é essencial para criar filmes com equilíbrio entre funcionalidade e durabilidade.

Comparativamente, outros biopolímeros, como gelatina ou polímeros sintéticos, poderiam oferecer maior resistência mecânica, mas carecem das vantagens ambientais e econômicas do amido. A utilização de amido, em conjunto com subprodutos agroindustriais como a farinha de casca de banana, reflete uma abordagem sustentável e acessível para a produção de embalagens biodegradáveis.

Portanto, a escolha do amido, combinada com a farinha de casca de banana e os extratos vegetais, não apenas assegura propriedades estruturais adequadas, como também promove a sustentabilidade e a funcionalidade dos filmes. O controle rigoroso das proporções de amido, minerais e extratos é fundamental para otimizar o desempenho dos filmes em diferentes condições ambientais, garantindo resistência, flexibilidade e alta capacidade antioxidante.

6.3.1.2 pH e acidez titulável

Os valores de pH das soluções filmogênicas e dos filmes e da acidez titulável dos filmes, apresentados na Tabela 14, destacam-se como parâmetros fundamentais para a caracterização destes materiais, refletindo as interações iniciais dos

componentes e influenciando diretamente a eficácia dos filmes como barreiras antimicrobianas.

Tabela 14. Valores de pH (filmes e soluções filmogênicas) e de acidez titulável em diferentes formulações de filmes comestíveis obtidos de casca de banana, amido de milho e extrato de folhas de nespereira

Formulação	A T dos filmes (g.100 g ⁻¹ de ácido málico)	pH dos filmes	pH da SF
FSE	0,49 ±0,02 ^{abc}	4,71±0,8a	4,87±0,09 ^a
FE2	0,41 ±0,02 ^c	4,62±0,01a	4,78±0,03 ^a
FE4	0,46 ±0,04 ^{abc}	4,65±0,1a	4,78±0,02 ^a
FE8	0,44 ±0,03 ^{bc}	4,66±0,02a	4,64±0,03 ^b
FE12	0,52 ±0,03 ^a	4,64±0,02a	4,77±0,02 ^a
FE24	0,51 ±0,04 ^{ab}	4,66±0,01a	4,77±0,02 ^a

AT: Acidez Titulável; SF: solução Filmogênica; FSE: Filme sem Extrato; FE2: Filme adicionado com 2% de extrato; FE 4: Filme adicionado com 4% de extrato; FE 8: Filme adicionado com 8% de extrato. FE12: Filme adicionado com 12% de extrato; FE24: Filme adicionado com 24% de extrato. Valores médios ± desvio padrão. Letras iguais em uma mesma coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p > 0,05).

A análise dos valores de pH e acidez titulável das formulações de filmes comestíveis destaca características físico-químicas fundamentais para sua funcionalidade como embalagens biodegradáveis. Os filmes apresentaram pH variando de 4,62 (FE2) a 4,71 (FSE), sem diferenças estatisticamente significativas entre as formulações. A acidez titulável, por sua vez, mostrou variações mais marcantes, especialmente nas formulações FE12 (0,52 g.100 g⁻¹ de ácido málico) e FE24 (0,51 g/100 g de ácido málico), indicando uma maior interação entre os aditivos incorporados e a matriz biopolimérica. Essas interações podem contribuir para a estabilidade do filme, ao mesmo tempo em que oferecem um ambiente ácido favorável à inibição de patógenos, prolongando sua capacidade de preservação microbiológica em aplicações alimentícias (SILVA, 2020).

As soluções filmogênicas apresentaram valores de pH semelhantes aos dos filmes, variando entre 4,64 (FE8) e 4,87 (FSE). Pequenas variações observadas podem estar relacionadas à reorganização dos componentes durante o processo de formação do filme. A formulação FE8%, que apresentou o pH mais baixo entre as soluções filmogênicas (4,64), apresentou uma acidez favorável, potencialmente favorecendo a estabilidade antioxidante do filme uma característica essencial para prevenir a oxidação de alimentos embalados. Esses resultados reforçam a importância do controle do pH e da acidez titulável no desenvolvimento de filmes biodegradáveis. A acidez elevada, especialmente em formulações como FE12 e FE24, contribui para a estabilidade do material e para a inibição microbiana, sendo adequada para aplicações no setor alimentício (SADLER; MURPHY, 2010; YEN; KITTS; PRATAP SINGH, 2018). Além disso, a estabilidade do pH em todas as formulações indica que esses filmes são adequados para ajudar na conservação de alimentos, mantendo sua estrutura e funcionalidade.

6.3.1.3 Atividade de Água (Aw) e solubilidade

A atividade de água (Aw) e a solubilidade em água são parâmetros importantes para avaliar a eficácia de filmes comestíveis de casca de banana com extrato de *Eriobotrya japonica* como materiais de embalagem. Filmes com baixa solubilidade são particularmente benéficos para alimentos com alta Aw, pois oferecem maior resistência à umidade e mantêm a integridade estrutural do produto. Da mesma forma, valores reduzidos de Aw nos filmes ajudam a limitar o crescimento microbiano, contribuindo para a conservação dos alimentos (FOOD SAFETY BRAZIL, 2023; LABUZA; SHAFIUR RAHMAN, 2007). Dados na Tabela 15 ilustram os valores de Aw e solubilidade das diferentes formulações, evidenciando como as concentrações de extrato vegetal impactam as propriedades de barreira e durabilidade dos filmes.

Tabela 15. Atividade de água (Aw) e solubilidade em diferentes formulações de filmes de casca de banana com extrato de *Eriobotrya japonica*

Filmes	Atividade de Água			Solubilidade		
	(Aw)					
FSE	0,567	± 0,01	a	35,2644	± 0,045	b
FE 2%	0,571	± 0,00	a	27,5578	± 2,332	c

FE 4%	0,555 ± 0,01	b	26,4724 ± 1,465	c
FE 8%	0,523 ± 0,01	bc	27,0508 ± 3,706	c
FE 12%	0,518 ± 0,02	c	22,5777 ± 2,623	c
FE 24%	0,502 ± 0,01	d	45,6012 ± 1,170	a

FSE: Filme sem Extrato; FE2: Filme adicionado com 2% de extrato; FE 4: Filme adicionado com 4% de extrato; FE 8: Filme adicionado com 8% de extrato. FE12: Filme adicionado com 12% de extrato; FE24: Filme adicionado com 24% de extrato. Valores médios ± desvio padrão. Letras iguais em uma mesma coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p > 0,05).

Estudos indicam que filmes com Aw abaixo de 0,65 são mais eficazes em prevenir o crescimento de fungos e leveduras, os quais podem se desenvolver em intervalos entre 0,61 e 0,85, enquanto as bactérias geralmente requerem uma faixa ainda mais alta, próxima a 0,93-0,98 (BEUCHAT, 1983; ESENER et al., 1981). Como mostram os dados apresentados na Tabela 16, os filmes FSE e FE2 exibiram Aw (0,567 e 0,571, respectivamente) superior aos demais, o que pode reduzir sua eficácia antimicrobiana, limitando sua aplicação em ambientes de maior umidade. Em contrapartida, filmes com maiores concentrações de extrato, como FE12 e FE24, apresentaram Aw menores (0,518 e 0,502, respectivamente), indicando uma maior eficácia como barreira contra umidade, sugerindo uma interação mais eficaz do extrato com a matriz do filme, além de um potencial antimicrobiano ampliado e corroborando os achados de (Kamble et al., (2022), que observaram resultados semelhantes em filmes com farinha de banana verde para conservação alimentar. Em contraste, em seu estudo, Correia (2024) adicionou extratos de jabuticaba e jambolão sendo que a adição do extrato aumentou significativamente a (Aw) quando comparado com o filme controle.

No que diz respeito à solubilidade, este parâmetro é fundamental para determinar a resistência dos filmes à água e sua estabilidade estrutural. Filmes com alta solubilidade são suscetíveis a degradação em ambientes úmidos, o que compromete sua funcionalidade. Na Tabela 16, observa-se que o filme FE24 possui uma solubilidade elevada (45,60%), o que pode afetar negativamente sua durabilidade em condições de alta umidade. Os filmes FE2, FE4, FE8 e FE12 apresentaram solubilidades estatisticamente semelhantes, com valores que indicam resistência adequada e estabilidade em ambientes úmidos. Esse comportamento é consistente com os resultados observados por, (Orsuwan; e Sothornvit, (2018a), que relataram

efeitos positivos de aditivos na redução da solubilidade de filmes à base de farinha de banana verde, contribuindo para maior funcionalidade em aplicações que exigem durabilidade em condições de alta umidade.

No estudo conduzido por (Silva, et al. (2020c), filmes de farinha da casca de banana madura contendo extratos de *Eriobotrya japonica* nas concentrações de 2 e 4% apresentaram solubilidade registrada em aproximadamente 42%, valor comparável ao observado no presente estudo para o filme (FE24%) contendo 24 de extrato. Esses achados sugerem que concentrações mais baixas de extrato podem favorecer um equilíbrio entre solubilidade e resistência a umidade. Enquanto altas concentrações de extrato (como 24%) aumentam a solubilidade e reduzem a resistência, assim, concentrações mais baixas podem ser mais eficazes para aplicações práticas (BLANCO-PASCUAL; FERNÁNDEZ-MARTÍN; MONTERO, 2013).

Esses resultados destacam que a adição de extratos vegetais, particularmente *Eriobotrya japonica*, pode ser uma estratégia promissora para ajustar os parâmetros de A_w e solubilidade, otimizando a funcionalidade dos filmes como embalagens alimentares. Contudo, em formulações como a do filme FE24, que apresentam baixa A_w e alta solubilidade, é necessário considerar a redução da resistência em ambientes úmidos. Esse equilíbrio entre A_w e solubilidade deve ser cuidadosamente ajustado para maximizar a eficácia dos filmes como barreiras de proteção e assegurar sua estabilidade estrutural.

A modulação da A_w por meio de compostos bioativos oferece uma barreira eficaz contra patógenos, como ilustrado por (Sautour et al., (2001), que estabeleceram a importância de manter a A_w abaixo dos níveis críticos para o desenvolvimento de fungos como *Aspergillus flavus*, reforçando a eficácia desses filmes em ambientes controlados para estender a vida útil dos produtos embalados. Portanto, filmes elaborados com farinha de casca de banana, amido de milho e enriquecidos com extratos de folha de *Eriobotrya japonica* em concentrações entre (4%, 8% e 12%) demonstram uma combinação promissora de baixa solubilidade e ótima atividade de água, sendo ideais para testes de aplicação em alimentos perecíveis.

6.3.1.4 Análise de Minerais

A introdução da análise de minerais nas diferentes formulações de filmes com e sem extrato de *Eriobotrya japonica* revelou variações substanciais no teor de potássio,

conforme apresentado na Tabela 16. O FSE, formulação sem extrato composta apenas por farinha de casca de banana, apresentou uma concentração notavelmente alta de potássio, atingindo 5386,91 mg/100 g. Em contraste, a formulação FE 24, contendo 24% de extrato de *Eriobotrya japonica*, apresentou uma redução significativa na concentração de potássio, registrando 1031,23 mg/100 g.

Essa redução pode ser atribuída à presença de compostos quelantes no extrato vegetal, como fenóis e taninos, conhecidos por formar complexos estáveis com minerais e, potencialmente, reduzir sua biodisponibilidade (SHAH, 1981).

Esses compostos, embora contribuam para as propriedades antioxidantes e funcionais dos filmes, também podem atuar como fatores antinutricionais, interferindo na concentração detectável de minerais. Assim, a presença do extrato parece influenciar a composição mineral dos filmes devido a fenômenos de diluição e interação química na matriz do filme, destacando a necessidade de equilibrar os benefícios antioxidantes com os possíveis vieses nutricionais desses compostos (IFIE; MARSHALL, 2018).

Tabela 16. Composição mineral das formulações de filmes desenvolvidos com farinha de casca de banana madura, amido de milho e adicionados de diferentes concentrações de extrato de *Eriobotrya japonica*

Minerais (mg.100 g ⁻¹)															
Filmes	Sódio (Na)			Magnésio (Mg)			Fósforo (P)			Enxofre (S)			Cloro (Cl)		
FSE	503,63	± 33,38	a	46,93	± 1,25	b	177,91	± 24,73	a	18,57	± 2,07	a	114,54	± 27,35	a
FE 2%	434,74	± 29,60	a	40,21	± 0,88	bc	94,31	± 11,90	b	16,41	± 1,13	a	86,66	± 19,05	a
FE 4%	164,30	± 26,82	c	39,57	± 2,99	c	43,27	± 1,78	cd	8,02	± 0,32	b	7,96	± 0,93	b
FE 8%	153,53	± 14,12	c	34,87	± 1,40	c	73,53	± 8,30	bc	8,10	± 0,31	b	7,93	± 1,04	b
FE 12%	336,42	± 28,97	b	65,84	± 3,70	a	143,27	± 14,43	a	15,20	± 2,37	a	2,83	± 0,55	b
FE 24%	126,81	± 12,22	c	23,48	± 3,17	d	37,10	± 4,49	d	1,67	± 0,37	c	0,46	± 0,04	b

FSE: Filme sem Extrato; FE2: Filme adicionado com 2% de extrato; FE 4: Filme adicionado com 4% de extrato; FE 8: Filme adicionado com 8% de extrato. FE12: Filme adicionado com 12% de extrato; FE24: Filme adicionado com 24% de extrato. Valores médios ± desvio padrão. Letras iguais em uma mesma coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p > 0,05).

Minerais mg/100g												
	Potássio (K)			Manganês (Mn)			Ferro (Fe)			Cálcio (Ca)		
FSE	5386,91	± 447,76	a	22,17	± 3,66	a	9,50	± 1,71	a	322,96	± 43,81	a
FE 2	3054,14	± 86,07	c	13,24	± 0,49	b	6,82	± 0,60	ab	186,07	± 9,57	c
FE 4	2026,98	± 99,65	d	6,60	± 0,34	c	2,90	± 0,38	c	110,27	± 13,58	d
FE 8	2081,77	± 129,28	d	6,81	± 0,40	c	3,96	± 0,38	bc	116,53	± 1,77	d
FE 12	4069,91	± 72,44	b	13,36	± 0,19	b	8,96	± 1,86	a	244,63	± 6,93	b
FE 24	1031,23	± 163,48	e	4,00	± 0,23	c	3,27	± 0,29	c	88,54	± 5,49	d
	Cobre (Cu)			Zinco (Zn)			Rubídio (Rb)			Estrôncio (Sr)		
FSE	86,22	± 14,72	a	36,4336	± 2,095	a	9,845	± 1,81	a	2,35	± 0,477	a
FE 2	97,22	± 3,49	a	38,7743	± 0,959	a	9,334	± 0,79	ab	2,03	± 0,129	a
FE 4	20,46	± 1,80	bc	11,6934	± 1,399	bc	3,205	± 0,31	c	1,15	± 0,07	b
FE 8	14,65	± 0,40	bc	9,18389	± 0,411	bc	3,394	± 0,22	c	1,08	± 0,141	b
FE 12	8,45	± 0,85	c	8,47974	± 0,922	c	6,947	± 0,84	b	2,28	± 0,037	a
FE 24	26,10	± 3,20	b	12,0572	± 1,193	b	1,740	± 0,36	c	0,96	± 0,136	b

FSE: Filme sem Extrato; FE2: Filme adicionado com 2% de extrato; FE 4: Filme adicionado com 4% de extrato; FE 8: Filme adicionado com 8% de extrato. FE12: Filme adicionado com 12% de extrato; FE24: Filme adicionado com 24% de extrato. Valores médios ± desvio padrão. Letras iguais em uma mesma coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Não foram encontrados na literatura estudos avaliando os teores de minerais em filmes comestíveis. A alta concentração de potássio no FSE pode ser atribuída à presença da farinha de casca de banana, com um valor de 2790,78 mg.100 g⁻¹, conforme relatado no item 5.1.1.2. do presente estudo. O valor elevado de potássio no filme FSE pode ser explicado pelo efeito de concentração durante o processamento, que elimina umidade e promove a retenção do mineral devido às interações com os componentes da matriz do filme (ARQUELAU, 2018; BEBARTTA et al., 2020), além de possíveis erros analíticos e processuais, como a contaminação por equipamentos, reagentes ou até pela água utilizada na extração, que pode conter resíduos de potássio podem superestimar os resultados (SCHULTZ et al., 2011)

Por outro lado, a redução nos níveis de potássio observada na formulação com 24% de extrato (FE 24), apesar do extrato de folhas de *Eriobotrya japonica* apresentar um teor elevado de potássio (6.097,38 (mg.100 g⁻¹)), pode ser explicada por processos de diluição e redistribuição durante a incorporação na matriz do filme. Estudos apontam que a complexação do potássio com fibras solúveis, pectinas e outros compostos presentes na casca da banana intensificam a retenção de potássio no produto final e pode impactar negativamente superestimando a sua concentração (AKTER et al., 2021; BEBARTTA et al., 2020). Com relação ao cálcio, a formulação FSE apresentou o maior teor (322,96 (mg.100 g⁻¹)) em comparação aos demais filmes. Este valor pode estar associado à maior retenção do cálcio na matriz polimérica do filme com a maior quantidade da farinha, possivelmente mediada por ligações com as fibras estruturais da casca de banana. Este fenômeno é consistente com observações anteriores que destacam o papel das fibras alimentares na retenção de minerais durante o processamento (ARQUELAU, 2018; BEBARTTA et al., 2020). Ademais interferências espectrais entre elementos próximos na tabela periódica, como cálcio e sódio, e o efeito de concentração devido à secagem, que aumenta a densidade mineral, também contribuem para essas discrepâncias (HELLIN et al., 2005; ROMANO et al., 2008). O cálcio desempenha funções cruciais no organismo, incluindo a regulação neuromuscular, a coagulação sanguínea e a manutenção da estrutura óssea, enquanto o fósforo é indispensável para o metabolismo energético e a integridade estrutural celular (SERNA; BERGWITZ, 2020; SIMESSEN, 1970). No presente estudo, o teor de magnésio nos filmes variou de 23,48 a 65,84 (mg.100 g⁻¹), significativamente inferior ao valor encontrado no extrato bruto de *Eriobotrya japonica* (351,53 (mg.100 g⁻¹)). Isso sugere que as concentrações de magnésio nos filmes não

atingem níveis suficientemente significativos para suplementação, mas reforçam o papel do processamento na retenção mineral. No caso do sódio, os resultados mostraram um teor de 503,63 mg/100 g na formulação sem extrato (FSE) e 126,81 mg/100 g na formulação FE 24, contendo 24% de extrato de *Eriobotrya japonica*. Níveis reduzidos de sódio, como no FE 24, são alinhados às recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS), que incentiva uma menor ingestão de sódio para mitigar os riscos de doenças cardiovasculares (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2013; SIMESSEN, 1970).

No entanto, a redução no teor de sódio na formulação FE 24 deve ser avaliada em conjunto com o impacto do extrato vegetal sobre a concentração de outros minerais essenciais, como o potássio e o magnésio. A presença de compostos quelantes no extrato pode limitar a biodisponibilidade desses minerais, criando um possível viés na avaliação dos benefícios nutricionais do filme. Assim, enquanto o baixo teor de sódio é um ponto positivo, é fundamental equilibrar essa característica com a manutenção de níveis adequados de outros minerais importantes, avaliando os compromissos nutricionais associados ao uso do extrato.

Micronutrientes como zinco, cobre, cloro e enxofre apresentaram variações nas formulações, destacando a capacidade dos filmes de fornecer uma composição mineral diversificada. O zinco, por exemplo, é essencial para a função enzimática e imunidade (DJOKO et al., 2015; MAARES; HAASE, 2016), enquanto o cobre é fundamental para processos metabólicos e a formação de colágeno (HARRIS; O'DELL, 1974).

A presença de estrôncio nos filmes abre possibilidades para aplicações voltadas à saúde óssea, dado seu potencial de aumentar a densidade óssea (BROWNING; COWIESON, 2015; EVANS; READ, 1985). No entanto, sua interação com o cálcio exige cautela, pois pode ocorrer competição por receptores semelhantes, demandando mais estudos para avaliar seus efeitos e segurança (BROWNING; COWIESON, 2015). Já o rubídio, um traço elementar, deve ser monitorado para garantir segurança alimentar, embora tenha impacto nutricional limitado (MELNYK et al., 2019).

Embora os estudos sobre minerais em filmes comestíveis feitos de casca de banana sejam limitados, o presente estudo evidencia o potencial desses produtos como veículos para suplementação nutricional e como componentes funcionais na preservação de alimentos. No entanto, as discrepâncias observadas nos resultados

ressaltam a importância de investigar detalhadamente os fatores que podem influenciar a precisão das análises, como o uso de água ultrapura, calibração rigorosa e validação por técnicas complementares. Compreender e mitigar essas discrepâncias é fundamental para fortalecer a confiabilidade dos dados e ampliar o entendimento sobre as propriedades desses materiais. As descobertas deste estudo abrem novas possibilidades para a indústria de alimentos, incentivando práticas mais sustentáveis e inovadoras no aproveitamento de subprodutos.

6.3.1.5 Compostos Fenólicos totais e Atividade Antioxidante

A incorporação do extrato de *Eriobotrya japonica* nos filmes comestíveis à base de farinha de casca de banana e amido de milho resultou, como esperado, em um aumento significativo nos teores de compostos fenólicos e na atividade antioxidante (ARQUELAU et al., 2019b; SILVA et al., 2020b). Os resultados obtidos neste estudo estão apresentados na Tabela 17, evidenciando uma conexão direta entre a concentração do extrato e a presença de compostos fenólicos, o que intensifica a capacidade antioxidante dos filmes.

Tabela 17. Compostos Fenólicos totais e Atividade Antioxidante

FILMES	CFT (EAG/100g)	ABTS (μM de trolox/g de amostra)	DPPH EC50/g de DPPH	FRAP
FSE	307,76 \pm 7,45 e	7,46 \pm 0,13c	3064,23 \pm 398,24a	33,67 \pm 2,49c
FE 2	446,68 \pm 10,97d	10,6 \pm 0,18c	2797,93 \pm 205,74a	37,76 \pm 1,22c
FE 4	627,85 \pm 15,44c	14,73 \pm 0,36b	1772,40 \pm 22,61 b	52,6 \pm 4,69b
FE 8	664,69 \pm 14,23c	17,85 \pm 0,39b	1796,25 \pm 44,31 b	51,8 \pm 5,25b
FE 12	1809,90 \pm 36,40b	21,8 \pm 2,68ab	1543,23 \pm 84,84 b	58,31 \pm 3,23 b
FE 24	2480,75 \pm 94,77a	34,25 \pm 3,49a	599,09 \pm 12,21 c	180,45 \pm 2,42a

FSE: Filme sem Extrato; FE2: Filme adicionado com 2% de extrato; FE 4: Filme adicionado com 4% de extrato; FE 8: Filme adicionado com 8% de extrato. FE12: Filme adicionado com 12% de extrato; FE24: Filme adicionado com 24% de extrato. Valores médios \pm desvio padrão. Letras iguais em uma mesma coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Entre as formulações analisadas, aquelas com maior concentração de extrato demonstraram, de forma consistente, melhores propriedades antioxidantes, sugerindo potencial eficácia para a proteção e conservação de alimentos. Especificamente, o filme com a maior concentração de extrato (FE24) apresentou teores de compostos fenólicos totais de $2480,75 \pm 94,77$ mg EAG/100 g, valor significativamente superior ao filme sem extrato (FSE), que registrou $307,76 \pm 7,45$ mg EAG/100 g. Esses resultados indicam que a presença do extrato pode estar diretamente relacionada à maior capacidade antioxidante dos filmes, reforçando sua funcionalidade em aplicações alimentares. Os resultados das análises de compostos fenólicos totais demonstram que a adição do extrato de *Eriobotrya japonica* potencializa significativamente o conteúdo fenólico e a capacidade antioxidante dos filmes comestíveis. A formulação com 24% de extrato (FE24) apresentou teores de compostos fenólicos totais de $2480,75 \pm 94,77$ mg EAG/100 g, valor consideravelmente superior ao filme sem extrato (FSE), que registrou $307,76 \pm 7,45$ mg EAG/100 g. Comparativamente, a farinha de casca de banana (FCB) apresentou $564,51 \pm 28,40$ mg EAG/100 g, destacando que o extrato de *Eriobotrya japonica* é mais eficiente na incorporação de compostos fenólicos em filmes.

Os teores observados no extrato bruto de *Eriobotrya japonica* ($4367,48 \pm 44,43$ mg EAG/100 g) e no extrato purificado ($926,53 \pm 29,17$ mg EAG/100 g) indicam que, mesmo após a purificação e a incorporação em uma matriz sólida (o filme), a formulação FE24 mantém uma quantidade substancial de compostos fenólicos. Esse resultado evidencia a eficiência do processo de incorporação na retenção de compostos bioativos, o que confere ao filme propriedades antioxidantes intensificadas, fundamentais para aplicações destinadas a prolongar a vida útil de alimentos.

Esses achados corroboram estudos anteriores, como o de Rebello et al. (2014b), que observaram aumentos significativos na atividade antioxidante em filmes enriquecidos com compostos fenólicos, como flavonoides e proantocianidinas, que atuam diretamente na neutralização de radicais livres. Bashmil et al. (2021) também relataram uma relação positiva entre a alta concentração de compostos fenólicos e a maior capacidade antioxidante em filmes com casca de banana.

Portanto, a incorporação de *Eriobotrya japonica* não apenas aumenta os teores de compostos fenólicos, mas também amplia as propriedades funcionais dos filmes, posicionando-os como alternativas promissoras para embalagens antioxidantes, contribuindo para a proteção de alimentos e redução do impacto ambiental.

Entretanto, um ponto crítico a ser observado é o impacto da elevada concentração de extrato na solubilidade dos filmes. No presente estudo, o FE 24 apresentou uma solubilidade aumentada em comparação com as demais formulações com concentrações menores, o que pode reduzir a estabilidade estrutural do filme em ambientes úmidos. Isso é consistente com as observações de (Orsuwan e; Sothornvit, (2018b) que destacam a importância de equilibrar a incorporação de extratos fenólicos para preservar a integridade dos filmes sem comprometer a função antioxidante.

Em síntese, a incorporação de extratos de *Eriobotrya japonica* em filmes à base de farinha de casca de banana madura e amido de milho demonstrou ser eficaz na ampliação da atividade antioxidante e no enriquecimento em compostos fenólicos, especialmente em formulações com maiores concentrações de extrato. No entanto, as implicações observadas na solubilidade sugerem a necessidade de se determinar uma concentração ideal que maximize os benefícios antioxidantes sem comprometer a resistência estrutural, fundamental para embalagens de alimentos. Entre as formulações, o filme FE12 apresentou o melhor equilíbrio entre funcionalidade antioxidante e estabilidade estrutural, mostrando-se mais adequado para aplicações que demandam proteção antioxidante e boa integridade física. Assim, a formulação com 12% de extrato é indicada como a opção mais funcional, oferecendo um balanceamento eficiente entre desempenho e limitações.

6.3.1.6 Espessura e Gramatura

A gramatura e a espessura são parâmetros fundamentais para avaliar a resistência e a aplicabilidade dos filmes em embalagens alimentícias, pois influenciam diretamente as propriedades de barreira física, flexibilidade e durabilidade dos materiais (MUELLER; SCHOENWEITZ; LANGOWSKI, 2012). Os dados obtidos no presente estudo estão apresentados na Tabela 18.

Tabela 18. Espessura e Gramatura dos Filmes

FILMES	ESPESSURA (mm)	GRAMATURA (g.m ⁻²)
FSE	0,1729 ± 0,019 a	214,6 ± 11,6 a
2%	0,1634 ± 0,014 ab	170,5 ± 12,7bc
4%	0,1402 ± 0,013 bc	194,4 ± 18,7ab
8%	0,1516 ± 0,018 abc	143,9 ± 14,6c
12%	0,1511 ± 0,008 abc	156,4 ± 16,6 c
24%	0,1350 ± 0,009 c	150,3 ± 14,7 c

Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância. Legenda: FSE: Filme sem Extrato; FE2: Filme adicionado com 2% de extrato; FE 4: Filme adicionado com 4% de extrato; FE 8: Filme adicionado com 8% de extrato. FE12: Filme adicionado com 12% de extrato; FE24: Filme adicionado com 24% de extrato. Valores médios ± desvio padrão (n = 3). Letras iguais em uma mesma coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p > 0,05).

A espessura dos filmes comestíveis desenvolvidos variou de 0,1350 a 0,1729 mm, enquanto a gramatura ficou entre 143,9 e 214,6 g/m² (Tabela 19). Esses resultados são comparáveis com estudos de filmes de origem vegetal, que mostram variações conforme a concentração e o tipo de polímero utilizado. Por exemplo, (Rhim; Park; e Ha, (2013) relataram espessuras de filmes de amido e alginato na faixa de 0,1 a 0,2 mm, valores semelhantes aos encontrados neste estudo, evidenciando a aplicabilidade de filmes polissacarídicos para embalagens alimentícias de curta duração. (Gontard et al., (2017) também observaram gramaturas de 150 a 200 g/m² em filmes de amido e proteína de soja, próximos aos resultados obtidos aqui.

Os filmes com maior concentração de polímeros apresentou maior espessura e gramatura, enquanto os de concentração mais baixa, ou seja, com os maiores teores do extrato vegetal, como 8%,12% e 24%, resultaram em gramaturas menores, sugerindo maior flexibilidade, mas menor resistência mecânica. Essa relação direta entre concentração de sólidos e propriedades mecânicas foi destacada por Gutiérrez et al., (2015), que ressaltam a importância da espessura na permeabilidade e nas propriedades mecânicas de filmes biodegradáveis (Hendrawati; Ratri Ariatmi

Nugrahani, (2022) discutiu o impacto da espessura na hidrofobicidade dos materiais, aspecto relevante para aplicações de barreira em embalagens. Comparativamente, (Correia, (2024) desenvolveu filmes biodegradáveis à base de amido de sorgo com extratos das cascas de jabuticaba e jambolão, e observou variação de espessura entre 0,106 e 0,187 mm, correlacionando-se positivamente com a concentração de sólidos. No presente estudo, formulações com menor espessura e gramatura podem ser vantajosas para aplicações que exigem maior flexibilidade e controle da permeabilidade. Por outro lado, Composições mais espessas, como as desenvolvidas por Silva (2024), utilizando farinha de mesocarpo de coco verde, com gramatura variando entre 479,05 e 658,68 g/m² e espessura de 0,473 a 0,585 mm, apresentam maior resistência física e propriedades de barreira, sendo mais adequadas para aplicações que exigem proteção contra umidade, oxigênio e luz, além de conferirem maior integridade estrutural. Em contrapartida, formulações com menor espessura e gramatura podem oferecer vantagens em aplicações que demandam maior flexibilidade e controle da permeabilidade. Essas formulações são indicadas para embalagens destinadas à preservação da vida útil dos alimentos, reduzindo perdas decorrentes da umidade e da contaminação. Além disso, podem ser utilizadas em invólucros de produtos secos, nos quais a permeabilidade controlada contribui para a manutenção das características sensoriais e evita a formação de condensação.

A aplicabilidade dessas formulações também se estende às embalagens para produtos frescos e minimamente processados, favorecendo a troca gasosa e prevenindo o acúmulo excessivo de umidade, o que resulta em uma melhor conservação. Outra possibilidade de uso envolve o desenvolvimento de membranas para embalagens ativas, podendo ser incorporadas com agentes antimicrobianos ou antioxidantes, com o objetivo de prolongar a durabilidade de alimentos perecíveis. Além disso, sacolas e envoltórios biodegradáveis de uso único podem ser produzidos a partir dessas formulações, reduzindo a necessidade de plásticos convencionais e apresentando uma alternativa mais sustentável para o armazenamento e transporte de alimentos. Dessa maneira, a utilização de materiais com menor espessura e gramatura demonstra um potencial significativo tanto para a preservação da qualidade dos alimentos quanto para a redução do impacto ambiental, evidenciando sua relevância para o desenvolvimento de embalagens mais eficientes e ecologicamente responsáveis. Silva, (2020) obteve filmes de casca de banana com espessura variando de 0,059 a 0,085 mm utilizando menores concentrações de extrato de extrato

de folhas de *Eriobotrya japonica* e amido, demonstrando que a composição e o tipo de material impactam significativamente as propriedades finais dos filmes. Essas diferenças reforçam a influência da concentração de sólidos e das interações entre os componentes na estrutura dos filmes.

Portanto, a espessura e a gramatura observadas no presente estudo destacam-se como parâmetros críticos para desenvolver filmes comestíveis sustentáveis e alinhados às necessidades da indústria de embalagens alimentícias, balanceando durabilidade e flexibilidade. Comparações com outros estudos demonstram a importância de otimizar esses parâmetros para atender a diferentes aplicações industriais e funcionais.

6.3.1.7 Análise das propriedades mecânicas

A análise das propriedades mecânicas dos filmes com extratos de folhas de *Eriobotrya japonica* é essencial para sua aplicação na indústria alimentícia, devido à necessidade de resistência e durabilidade. Os resultados dos cinco parâmetros mecânicos analisados estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19. Propriedades mecânicas dos filmes com extratos de folhas de *Eriobotrya japonica*

FSE: Filme sem	Filmes	Resistência à Tração (MPa)		Alongamento (%)		Módulo elástico (MPa)		Resistência à perfuração (MPa)		Taxa de deformação (%)	
	FSE	1,09 ± 0,07	bc	17,02 ±	4,23c	14,44 ±	0,96b	2,89 ±	0,18b	445,45 ±	2,52b
	FE 2%	0,83 ±	0,00c	21,60 ±	1,86bc	8,54 ±	0,92b	2,73 ±	0,13b	458,14 ±	2,06a
	FE 4%	1,07 ±	0,13bc	33,26 ±	5,07a	13,93 ±	0,53b	4,12 ±	0,37a	254,84 ±	4,91cd
	FE 8%	1,30 ±	0,05b	30,94 ±	3,88ab	11,45 ±	1,66b	4,48 ±	0,37a	260,66 ±	5,89c
	FE 12%	1,20 ±	0,23bc	30,72 ±	2,95ab	13,88 ±	2,48b	4,23 ±	0,45a	260,53 ±	0,91c
	FE 24%	1,65 ±	0,22a	17,61 ±	2,05c	69,44 ±	9,07a	4,71 ±	0,13a	246,74 ±	4,47d

Extrato; FE2: Filme adicionado com 2% de extrato; FE 4: Filme adicionado com 4% de extrato; FE 8: Filme adicionado com 8% de extrato. FE12: Filme adicionado com 12% de extrato; FE24: Filme adicionado com 24% de extrato. Valores médios ± desvio padrão, n = 5, para resistência à tração, alongamento e módulo elástico; n = 12, para resistência à perfuração e taxa de deformação. Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O comportamento mecânico dos filmes desenvolvidos no presente estudo foi avaliado por meio de parâmetros como resistência à tração, alongamento, módulo elástico, resistência à perfuração e taxa de deformação, os quais evidenciaram interações específicas entre os componentes das formulações. Os resultados demonstraram que a concentração de *Eriobotrya japonica* teve um impacto significativo nas propriedades finais dos materiais, permitindo uma análise abrangente de seu potencial de aplicação.

A resistência à tração aumentou progressivamente com o incremento da concentração do extrato, atingindo seu valor mais alto no FE 24 ($1,65 \pm 0,22$ MPa), indicando maior coesão estrutural da matriz polimérica devido a interações mais eficientes entre os componentes. O módulo elástico apresentou um comportamento similar, variando de $8,54 \pm 0,92$ MPa (FE 2) a $69,44 \pm 9,07$ MPa (FE 24), refletindo maior rigidez em concentrações mais elevadas. Em contrapartida, o alongamento, indicador da flexibilidade dos filmes, foi mais expressivo nas formulações FE 4, FE 8 e FE 12, evidenciando uma maior capacidade de deformação antes da ruptura. O FE 24, por sua vez, apresentou menor taxa de alongamento ($17,61 \pm 2,05\%$), consistente com seu elevado módulo elástico e sua maior rigidez.

A resistência à perfuração foi superior nas formulações com maiores concentrações de extrato (FE 4 a FE 24), indicando uma capacidade aprimorada de suportar tensões localizadas. Já a taxa de deformação, essencial para aplicações que exigem flexibilidade, foi mais baixa no FE 24 ($246,74 \pm 4,47\%$), enquanto no FE 2 alcançou seu maior valor ($458,14 \pm 2,06\%$), demonstrando maior elasticidade nas formulações menos rígidas.

Ao comparar esses achados com os resultados de Silva et al. (2020c), que utilizaram concentrações de extrato de *Eriobotrya japonica* de 2% e 4%, os filmes do presente estudo apresentaram desempenho superior na resistência à tração. Enquanto o FE 24 atingiu $1,65 \pm 0,22$ MPa, os filmes de Silva et al. (2020c) apresentaram um valor máximo de $0,74 \pm 0,02$ MPa em formulações com farinha de casca de banana (sem extrato de *E. japonica*). Esses resultados indicam que os filmes desenvolvidos no presente estudo possuem uma matriz estrutural mais coesa, tornando-se mais adequados para aplicações que demandam maior resistência mecânica.

Além disso, os filmes desenvolvidos apresentaram uma taxa de alongamento na ruptura de até $33,26 \pm 5,07\%$ no FE 4, o que demonstra um equilíbrio entre rigidez

e elasticidade. Essas características são fundamentais para embalagens que exigem resistência mecânica sem comprometer a estabilidade estrutural. Em comparação, os filmes de Silva et al. (2020c) apresentaram uma taxa de alongamento superior ($47 \pm 1\%$) no filme contendo 4% do extrato de *E. japonica*, indicando maior flexibilidade. No entanto, essa elasticidade elevada pode comprometer a resistência mecânica e a durabilidade do material, especialmente em aplicações que exigem maior rigidez e estabilidade estrutural.

O módulo de elasticidade também evidenciou diferenças marcantes entre os estudos. Enquanto Silva et al. (2020c) relataram valores de $2,3 \pm 0,1$ MPa no filme contendo 4% do extrato de *E. japonica*, os filmes do presente estudo alcançaram até $69,44 \pm 9,07$ MPa no FE 24. Esse aumento substancial na rigidez demonstra que os materiais desenvolvidos possuem maior estabilidade mecânica, um aspecto essencial para embalagens que exigem durabilidade, resistência estrutural e proteção contra deformações permanentes. A elevada rigidez dos filmes sugere um desempenho aprimorado em aplicações que necessitam de manutenção da integridade dimensional, suporte mecânico adequado e resistência a forças externas, tornando-os particularmente adequados para embalagens destinadas ao armazenamento e transporte de alimentos e outros produtos sensíveis.

Dessa forma, os filmes desenvolvidos no presente estudo demonstraram maior resistência à tração, rigidez e força de perfuração, sendo mais adequados para aplicações que demandam estabilidade estrutural e proteção mecânica. Essas diferenças ressaltam a importância do ajuste das formulações para atender às demandas específicas de cada aplicação no setor de embalagens.

A comparação com a literatura reforça que as propriedades mecânicas dos filmes comestíveis são influenciadas diretamente por sua composição e pela interação entre seus componentes. Estudos como os de Gutiérrez et al. (2015), Falguera et al. (2011b) e Jagannath et al. (2003) destacam a importância de parâmetros como espessura, gramatura e concentração de sólidos na otimização das propriedades mecânicas e de barreira dos filmes. De maneira geral, filmes mais espessos e densos apresentam maior resistência mecânica, enquanto filmes mais finos proporcionam maior flexibilidade e permeabilidade controlada (Falguera et al., 2011b; Jagannath et al., 2003; Silva, 2020).

Nesse contexto, os filmes contendo extratos de folhas de *Eriobotrya japonica* em formulações biodegradáveis demonstram grande potencial para a indústria de

embalagens sustentáveis. A modulação das propriedades mecânicas é um fator determinante para ajustar a funcionalidade dos filmes às demandas específicas da indústria alimentícia e outras aplicações, destacando-se como uma estratégia promissora para o desenvolvimento de materiais inovadores e ecologicamente responsáveis.

6.3.1.8 Análise das propriedades ópticas

6.3.1.8.1 Cor

Os parâmetros colorimétricos dos filmes, incluindo luminosidade, croma e tonalidade, fundamentais para a avaliação de suas propriedades visuais, estão apresentados na Tabela 20. A luminosidade (L^*) varia de 0 (preto) a 100 (branco), enquanto o croma (C^*) representa a intensidade da cor, aumentando conforme a saturação. A tonalidade, expressa pelo ângulo h° , posiciona a cor no círculo cromático, variando entre vermelho ($+a^*$) e azul ($-b^*$) (KONICA MINOLTA, 2015). Esse sistema permite uma análise detalhada e precisa das características ópticas dos filmes, como clareza, intensidade e nuances de tonalidade.

Tabela 20. Parâmetros colorimétricos dos filmes da casca de banana

Filmes	L^*	h°	c^*
FSE	32,74 ± 2,05c	42,55± 4,21bc	20,21 ±3,01 bc
FE 2	30,31 ± 0,66c	37,33 ± 2,42c	16,30 ±2,05 c
FE 4	37,54 ±2,80abc	48,63 ± 2,46abc	24,56 ±1,59abc
FE 8	41,44 ± ±3,26a	54,63 ± 4,78a	30,56 ±4,46a
FE 12	40,51 ± 4,54ab	51,46 ± 6,15ab	27,06 ±3,52ab
FE 24	33,35 ±2,08bc	43,37 ± 3,69abc	20,60 ±2,65bc

FSE: Filme sem Extrato; FE2: Filme adicionado com 2% de extrato; FE 4: Filme adicionado com 4% de extrato; FE 8: Filme adicionado com 8% de extrato. FE12: Filme adicionado com 12% de extrato; FE24: Filme adicionado com 24% de extrato. Valores médios ± desvio padrão, n = 10, de Tukey a 5% de significância.

Os valores de L^* (luminosidade) dos filmes desenvolvidos, variando de 30,31 a 41,44, indicam um caráter mais escuro comparado aos filmes de Silva, et al. (2020c) que, embora também tenham utilizado farinha de casca de banana e extrato das folhas

de *Eriobotrya japonica*, obtiveram valores superiores (78 e 79). Correia (2024) preparou filmes com amido de sorgo que apresentaram valores próximos a 88,7, indicando alta luminosidade. Essa diferença reflete o impacto da composição dos filmes, particularmente a especificidade da farinha de casca de banana utilizada e o aumento da concentração de extratos que conferiu uma tonalidade mais escura aos filmes. Comparativamente, Silva (2024), em seus experimentos com o subproduto do processo de extração do azeite de oliva úmido, observou valores de L^* mais baixos em diferentes formulações de filmes com adição de farinha de mesocarpo de coco, (2300 e 28,04), sugerindo que a inclusão de matérias-primas escuras influencia a tonalidade e a clareza dos filmes.

Em termos de tonalidade (h°), os filmes estudados mostraram valores variando de $37,33^\circ$ a $54,63^\circ$, indicando uma coloração amarelada a marrom. Esse padrão de tonalidade se diferencia dos resultados obtidos por (Correia, (2024), que apresentou um espectro mais elevado com h° próximo a 294° , refletindo tons arroxeados devido ao uso de extratos de jambolão e jabuticaba. Por outro lado, os filmes de Silva (2024) e Silva, et al. (2020c) exibiram tonalidades predominantemente amareladas com valores médios de h° em torno de 74° , o que reforça a influência dos compostos fenólicos nos extratos utilizados.

Os valores de croma (C^*), que indicam saturação, variaram de 16,30 a 30,56 nos filmes desenvolvidos, indicando uma saturação moderada. Esses valores foram semelhantes aos dos filmes da farinha de casca de banana e extrato das folhas de *E. japonica* (22 e 28) obtidos por Silva et al. (2020c). Contudo, esses resultados contrastam com os filmes de Silva (2024) que apresentaram variações amplas de C^* , chegando a 48,65 com maior saturação devido à adição de farinha de mesocarpo de coco.

Os resultados demonstram que a composição dos filmes e a adição de extratos influenciam significativamente suas propriedades ópticas. Filmes com maior opacidade e saturação controlada são indicados para aplicações que exigem proteção contra a luz e controle de aspectos visuais. Estudos (DA SILVA FILIPINI; ROMANI; GUIMARÃES MARTINS, 2020; RIAZ et al., 2020) ressaltam que a modulação dos parâmetros ópticos é essencial para a adequação dos filmes em embalagens alimentares.

6.3.1.9 Atividade Antimicrobiana

6.3.1.9.1 Disco de Difusão e Concentração inibitória mínima (CIM)

Os resultados do presente estudo demonstraram que todos os filmes analisados apresentaram halos de inibição inferiores a 6 mm, indicando uma eficácia antimicrobiana limitada, conforme ilustrado na Tabela 21.

Tabela 21. Análise antimicrobiana dos filmes

Filme	Halo de Inibição (E. coli) (mm)	Halo de Inibição (S.aureus) (mm)	CIM (E. coli) (mg/mL)	CIM (S.aureus) (mg/mL)
Filme sem Extrato	<6 mm	<6 mm	N/D	N/D
FE 2%	<6 mm	<6 mm	>7,8 mg/mL	>7,8 mg/mL
FE 4%	<6 mm	<6 mm	>7,8 mg/mL	>7,8 mg/mL
FE 8%	<6 mm	<6 mm	>7,8 mg/mL	>7,8 mg/mL
FE 12%	<6 mm	<6 mm	>7,8 mg/mL	>7,8 mg/mL
FE 24%	<6 mm	<6 mm	>7,8 mg/mL	>7,8 mg/mL

N/D: Não detectável; FSE: Filme sem Extrato; FE2%: Filme adicionado com 2% de extrato;

FE 4%: Filme adicionado com 4% de extrato; FE 8%: Filme adicionado com 8% de extrato.

FE12%: Filme adicionado com 12% de extrato; FE24%: Filme adicionado com 24% de extrato

A avaliação da atividade antimicrobiana dos filmes contra *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus* demonstrou uma limitação no controle bacteriano, independentemente da adição do extrato de *Eriobotrya japonica*. Esse desempenho reduzido pode ser atribuído, em grande parte, à natureza física dos filmes, que atuam como barreiras, dificultando a difusão dos compostos bioativos no meio de cultura e, conseqüentemente, prejudicando a interação homogênea com os patógenos (FERNÁNDEZ-PAN; ROYO; IGNACIO MATÉ, 2012). Esse fenômeno já foi relatado por Sanjurjo et al. (2006), que destacam a influência da estrutura e densidade dos filmes na redução da liberação e difusão dos compostos ativos, comprometendo sua eficácia antimicrobiana.

Os resultados da Concentração Inibitória Mínima (CIM) do extrato livre e dos filmes contendo diferentes concentrações de *E. japonica* reforçam essa limitação. Embora os filmes com maior teor de extrato, como o FE 24%, apresentassem

concentrações mais elevadas de compostos bioativos, os valores de CIM não indicaram um efeito antimicrobiano significativo contra os microrganismos testados. Esse resultado evidencia que a incorporação do extrato nos filmes não foi suficiente para modificar sua capacidade antimicrobiana, sugerindo que a matriz polimérica restringiu sua difusão e disponibilidade para ação direta sobre as bactérias.

Adicionalmente, a possível degradação térmica dos compostos bioativos durante o processo de evaporação em estufa pode ter contribuído para essa ineficácia, conforme já relatado por Lee e Kim (2009). Além disso, o método de extração utilizado pode ter impactado a preservação dos compostos antimicrobianos, uma vez que estudos prévios, como o de Abdou, Daoud e Abdel-Massih (2011), demonstraram que extratos brutos apresentam maior eficiência antimicrobiana. Esses achados reforçam a necessidade de ajustes metodológicos para garantir a estabilidade e a liberação controlada dos compostos ativos nos filmes, caso se busque potencializar sua ação antimicrobiana.

Sajid et al. (2021) demonstraram que a eficácia antimicrobiana de *Eriobotrya japonica* pode ser significativamente aprimorada quando incorporada em nanopartículas, evidenciando que a forma de aplicação e incorporação do extrato influencia diretamente sua atividade antimicrobiana. Nesse contexto, os achados da literatura sugerem que estratégias de **proteção e estabilização dos compostos bioativos**, como a nanoencapsulação, podem otimizar sua liberação controlada e aumentar sua eficiência antimicrobiana.

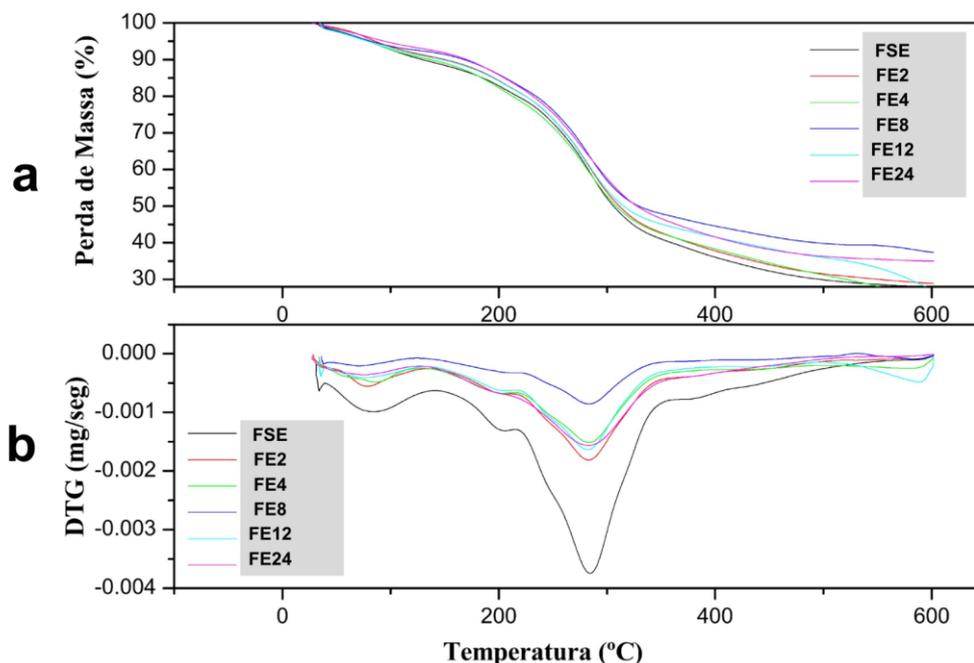
Embora métodos adaptados, como o descrito por Espinel-Ingroff et al. (2007) para fungos filamentosos, tenham demonstrado sucesso na promoção do crescimento microbiano em meio de ágar, o presente estudo optou por não realizar testes com *Candida albicans*. Essa decisão foi motivada pela ausência de protocolos específicos para filmes comestíveis e pela complexidade técnica da adaptação de filmes sólidos para testes de difusão, o que poderia comprometer a precisão e a reprodutibilidade dos resultados. Dessa forma, considerando os desafios metodológicos inerentes à incorporação de compostos bioativos em matrizes poliméricas, futuros estudos poderiam explorar mecanismos de encapsulação ou outras abordagens tecnológicas para potencializar a liberação e a estabilidade dos extratos vegetais, otimizando sua eficácia antimicrobiana.

6.3.1.10 Propriedades Térmicas

6.3.1.10.1 Termogravimetria (TGA)

A análise termogravimétrica (TGA) (Figura 17A) e as curvas derivadas (DTG) (Figura 17 B) demonstraram que o aumento na concentração de extrato de *Eriobotrya japonica* melhora a estabilidade térmica dos filmes comestíveis. O deslocamento das temperaturas de início da degradação para valores mais altos e o aumento na estabilidade nos picos de perda de massa indicam interações positivas entre o extrato e a matriz polimérica, como ilustrado na Figura 17. Resultados semelhantes foram reportados por Medina Jaramillo et al. (2016) e Bhatia et al. (2022) que observaram que aditivos naturais aumentam a resistência térmica de filmes. De forma análoga, Bhatia et al. (2023) elaboraram filmes de quitosana e alginato e destacaram efeitos estabilizadores utilizando extrato de *Ficus racemosa* demonstrando interações semelhantes entre os compostos naturais e a matriz.

Figura 18. Curvas termogravimétricas (a) e derivadas (b) dos filmes desenvolvidos



Os filmes analisados apresentaram quatro estágios de perda de massa em todas as formulações (Figura 18 a). No estágio inicial, houve perda em torno de 16% a uma temperatura de 29,63 °C, atribuída à evaporação de água e volatilização de pequenas moléculas presentes na matriz (CORREIA, 2024; LUZ et al.,

2023(CORREIA, 2024; LUZ et al., 2023). O segundo estágio, observado em 126,41 °C, foi associado à decomposição de compostos orgânicos de baixo peso molecular, como glicerol e compostos fenólicos oriundos dos extratos. O terceiro e o quarto estágios, ocorrendo nas temperaturas de 215 °C e 360 °C, respectivamente, foram associados à degradação da hemicelulose e ao início e término da degradação da celulose (FRONZA et al., 2024). Os filmes contendo extrato de *Eriobotrya japonica* apresentaram maior estabilidade térmica em comparação ao filme controle (FSE), que exibiu o comportamento padrão de degradação observado em estudo anterior (CORREIA, 2024). As formulações com 2% e 4% de extrato demonstraram uma leve melhora na estabilidade térmica (Figura 18 a), sugerindo uma interação inicial entre o extrato e a matriz, como observado por Zhang et al. (2013) em filmes de proteína isolada de soja com ácido oleico e esteárico. Por outro lado, as formulações com concentrações mais altas de extrato (8%, 12% e 24%) apresentaram deslocamentos mais significativos nos picos de degradação (Figura 18 b), indicando maior resistência estrutural, consistente com os achados de (BHATIA et al., 2023).

A perda de massa mais acentuada foi observada na faixa de 300 a 380 °C, sendo mais pronunciada no filme (FSE), com maior degradação na temperatura de 280 °C (Figura 18 a). Esse comportamento difere das formulações contendo extrato, que apresentaram maior resistência térmica, como evidenciado pelos picos DTG. As formulações com 8%, 12% e 24% destacaram-se pela maior estabilidade estrutural, demonstrando seu potencial para aplicação em embalagens alimentares que exigem maior durabilidade térmica. Tais aplicações incluem revestimentos para alimentos congelados, que demandam integridade em ciclos de congelamento e descongelamento, e embalagens para transporte ou armazenamento prolongado em ambientes com altas temperaturas (LIU et al., 2020)

Os resultados confirmam que o aumento do teor de extrato de *Eriobotrya japonica* aprimora a resistência térmica dos filmes, ampliando sua durabilidade e estabilidade. No entanto, o equilíbrio entre estabilidade térmica e biodegradabilidade deve ser cuidadosamente avaliado para atender às demandas específicas de cada aplicação.

7. CONCLUSÃO

A presente pesquisa oferece contribuições significativas para a indústria alimentícia, destacando o desenvolvimento de filmes comestíveis a partir de farinha

de casca de banana madura e amido de milho, acrescido de extrato de folhas de *Eriobotrya japonica*. Os resultados revelaram que a farinha de casca de banana é uma fonte promissora de compostos bioativos e minerais essenciais, como potássio e sódio, evidenciando seu potencial para aplicações em alimentos com propriedades bioativas e embalagens biodegradáveis. O extrato de folhas de *Eriobotrya japonica* apresentou elevada concentração de compostos fenólicos e expressiva atividade antioxidante, reforçando seu valor como ingrediente funcional com potencialidade de promover a saúde e proteção contra o estresse oxidativo.

A incorporação desses componentes em filmes comestíveis resultou em materiais com propriedades antioxidantes e bioativas relevantes, capazes de contribuir para a conservação de alimentos e o avanço de tecnologias inovadoras na área alimentícia. Embora a eficácia antimicrobiana dos filmes tenha apresentado limitações contra *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*, possivelmente devido à barreira física proporcionada pelos filmes e à degradação dos compostos ativos durante o processo de produção, ajustes na formulação poderão otimizar esse desempenho em pesquisas futuras.

Entre as formulações testadas, a que incorporou 8% de extrato de *Eriobotrya japonica* demonstrou o melhor desempenho, apresentando um equilíbrio entre alta capacidade antioxidante, propriedades mecânicas adequadas e estabilidade estrutural, tornando-se a mais promissora para aplicações práticas. Concentrações mais altas, como 12%, comprometeram a resistência mecânica e elasticidade dos filmes, enquanto formulações com menores concentrações, como 4%, apresentaram boas propriedades mecânicas, mas eficiência antioxidante limitada.

Adicionalmente, a atividade antimicrobiana dos filmes mostrou-se restrita à inibição de *Candida albicans*, o que pode ser relevante em aplicações específicas, principalmente para alimentos suscetíveis à contaminação fúngica. Esses resultados reforçam a viabilidade de aplicar tais materiais na formulação de filmes comestíveis e embalagens biodegradáveis, que não apenas promovem a conservação dos alimentos, mas também atendem às crescentes demandas por soluções sustentáveis e inovadoras no setor alimentício. A pesquisa confirma o potencial de alinhar funcionalidade, bioatividade e sustentabilidade, contribuindo para a redução de resíduos agroindustriais e para o desenvolvimento de produtos ativos e ecologicamente responsáveis.

8 PERSPECTIVAS FUTURAS

✓ Explorar novas combinações e técnicas de incorporação, como o uso de nanopartículas ou métodos de dispersão que potencializem a difusão do extrato ativo nos filmes e melhorem a eficácia antimicrobiana.

✓ Ampliar os testes com outros patógenos, incluindo fungos, e avaliar a eficácia dos filmes como embalagens bioativas para diferentes tipos de alimentos.

✓ Avaliar a estabilidade dos filmes em diferentes condições de armazenamento e sua interação com os alimentos embalados para assegurar a eficácia e a migração adequada dos compostos ativos.

✓ Investigar a biodegradabilidade dos filmes em ambientes naturais e seu impacto ambiental, reforçando a viabilidade de seu uso como uma solução sustentável.

9 REFERÊNCIAS

ABDOLLAHZADEH, E.; NEMATOLLAHI, A.; HOSSEINI, H. Composition of antimicrobial edible films and methods for assessing their antimicrobial activity: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 110, p. 291–303, abr. 2021.

ABDOU, E.; DAOUD, Z.; ABDEL-MASSIH, R. Leaf and branch extracts of *Eriobotrya japonica* exert antibacterial activity against ESBL-producing *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae*. **International Journal of Phytomedicine**, p. 120–128, jun. 2011.

AKTER, M. et al. Adsorption Characteristics of Banana Peel in the Removal of Dyes from Textile Effluent. **Textiles**, v. 1, n. 2, p. 361–375, 10 set. 2021.

ALCANTARA, B. M.; CASTILHO, L. G.; CLEMENTE, E. DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DA FARINHA DA CASCA, DA CASCA IN NATURA E DA POLPA DE BANANA VERDE DAS CULTIVARES MAÇÃ E PRATA. **e-xacta**, v. 7, n. 2, 29 nov. 2014a.

ALCANTARA, B. M.; CASTILHO, L. G.; CLEMENTE, E. DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DA FARINHA DA CASCA, DA CASCA IN NATURA E DA

POLPA DE BANANA VERDE DAS CULTIVARES MAÇÃ E PRATA. **e-xacta**, v. 7, n. 2, 29 nov. 2014b.

ALKARKHI, A. F. M. et al. Comparing physicochemical properties of banana pulp and peel flours prepared from green and ripe fruits. **Food Chemistry**, v. 129, n. 2, p. 312–318, nov. 2011.

ALSHEHRY, G. A. Medicinal Applications of Banana Peel Flour Used as a Substitute for Computing Dietary Fiber for Wheat Flour in the Biscuit Industry. **Applied Bionics and Biomechanics**, v. 2022, p. 1–9, 22 abr. 2022.

ALVES, E. et al. Antimicrobial Lipids from Plants and Marine Organisms: An Overview of the Current State-of-the-Art and Future Prospects. **Antibiotics**, v. 9, n. 8, p. 441, 24 jul. 2020.

ANTÓNIO, GUILHERME. DA S. V. B. BARROS. **Biocompounds extracted from natural sources with benefits to health**. Aveiro: [s.n.]. Disponível em: <https://path.web.ua.pt/publications/TM_Guilherme_Barros.pdf>. Acesso em: 7 set. 2024.

ANVISA (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA). **RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005**. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0263_22_09_2005.html>. Acesso em: 23 out. 2024.

AOAC INTERNATIONAL. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. Em: LATIMER, G. W.; JR. (ED.) (Eds.). **Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL**. 22ª Edição ed. New York: Oxford University Press, 2023.

ARQUELAU, P. B. DE F. **Desenvolvimento e caracterização de revestimentos comestíveis a partir de farinha de casca de banana (Musa spp.) prata (AAB)**. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) —Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 6 nov. 2018.

ARQUELAU, P. B. DE F. et al. Characterization of edible coatings based on ripe “Prata” banana peel flour. **Food Hydrocolloids**, v. 89, p. 570–578, abr. 2019a.

ARQUELAU, P. B. DE F. et al. Characterization of edible coatings based on ripe “Prata” banana peel flour. **Food Hydrocolloids**, v. 89, p. 570–578, abr. 2019b.

ARUMUGHAM, T. et al. Supercritical carbon dioxide extraction of plant phytochemicals for biological and environmental applications – A review. **Chemosphere**, v. 271, p. 129525, maio 2021.

ASAMUDO, N.; NDUBUISI-NNAJI, U.; FATUNLA, O. Microbiological and Proximate Composition of Different Stored Wheat Flour Brands Sold in Uyo Metropolis, Nigeria. **Journal of Applied Life Sciences International**, v. 10, n. 4, p. 1–11, 10 jan. 2017.

ASSIS, O. B. G.; BRITTO, D. DE. Revisão: coberturas comestíveis protetoras em frutas: fundamentos e aplicações. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 2, p. 87–97, jun. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL 2020 | ABRELPE.**

AUORE, G.; PARFAIT, B.; FAHRASMANE, L. Bananas, raw materials for making processed food products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 20, n. 2, p. 78–91, 18 fev. 2009.

AZEREDO, H. M. C.; MIRANDA, K. W. E.; RIBEIRO, H. L. Revestimentos Comestíveis de Alginato e Polpa de Acerola. **Comunicado Técnico**, 191, p. 1–3, dez. 2012.

BASHMIL, Y. M. et al. Screening and Characterization of Phenolic Compounds from Australian Grown Bananas and Their Antioxidant Capacity. **Antioxidants**, v. 10, n. 10, p. 1521, 25 set. 2021a.

BEBARTTA, R. P. et al. Development of edible packaging film from banana peels and effect of glycerol concentration on the film properties. **International Journal of Chemical Studies**, v. 8, n. 1, p. 1269–1273, 1 jan. 2020.

BENBETTAÏEB, N.; KARBOWIAK, T.; DEBEAUFORT, F. Bioactive edible films for food applications: Influence of the bioactive compounds on film structure and properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 7, p. 1137–1153, 12 abr. 2019.

BERGO, P.; SOBRAL, P. J. A.; PRISON, J. M. EFFECT OF GLYCEROL ON PHYSICAL PROPERTIES OF CASSAVA STARCH FILMS. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 34, p. 401–410, maio 2010.

BEUCHAT, L. R. Influence of Water Activity on Growth, Metabolic Activities and Survival of Yeasts and Molds. **Journal of Food Protection**, v. 46, n. 2, p. 135–141, fev. 1983.

BEUCHAT, L. R. Surface decontamination of fruits and vegetables eaten raw: A review. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1998. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/>. Acesso em: 27/12/2024.

BEZERRA, M. et al. BANANA:O produtor pergunta, a Embrapa responde. Em: MARCELO BEZERRA LIMA; SEBASTIÃO DE OLIVEIRA E SILVA; CLÁUDIA FORTES FERREIRA. (Eds.). **Embrapa Mandioca e Fruticultura**. 2ed.rev. e ampl. ed. BRASILIA-DF: Embrapa, 2012., 2012. v. coleção500p. 1–214.

BHATIA, S. et al. Preparation and Physicochemical Characterization of Bitter Orange Oil Loaded Sodium Alginate and Casein Based Edible Films. **Polymers**, v. 14, n. 18, p. 3855, 15 set. 2022.

BHATIA, S. et al. Physicochemical Characterization and Antioxidant Properties of Chitosan and Sodium Alginate Based Films Incorporated with Ficus Extract. **Polymers**, v. 15, n. 5, p. 1215, 28 fev. 2023.

BHAVANI, M. et al. Bioactive, antioxidant, industrial, and nutraceutical applications of banana peel. **International Journal of Food Properties**, v. 26, n. 1, p. 1277–1289, 22 set. 2023.

BIMAKR, M.; GANJLOO, A. Supercritical Carbon Dioxide Extraction of Bioactive Compounds. **Food & Nutrition Journal**, v. 1, n. 2, 7 out. 2016.

BLANCO-PASCUAL, N.; FERNÁNDEZ-MARTÍN, F.; MONTERO, M. P. Effect of different protein extracts from *Dosidicus gigas* muscle co-products on edible films development. **Food Hydrocolloids**, v. 33, n. 1, p. 118–131, ago. 2013.

BONA, E. A. M. DE et al. Comparação de métodos para avaliação da atividade antimicrobiana e determinação da concentração inibitória mínima (cim) de extratos vegetais aquosos e etanólicos. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 81, n. 3, p. 218–225, set. 2014.

BORBOLLA-JIMÉNEZ, F. V. et al. Films for Wound Healing Fabricated Using a Solvent Casting Technique. **Pharmaceutics**, v. 15, n. 7, p. 1914, 9 jul. 2023a.

BORBOLLA-JIMÉNEZ, F. V. et al. Films for Wound Healing Fabricated Using a Solvent Casting Technique. **Pharmaceutics**, v. 15, n. 7, p. 1914, 9 jul. 2023b.

BORGES, A. L. et al. A cultura da banana/Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Em: FERNANDO DO AMARAL PEREIRA; MAYARA ROSA CARNEIRO (Ed.). **Coleção Plantar**, 56. 3. ed. rev. e amp. ed. BRASÍLIA: Embrapa Informação Tecnológica, 2006a. v. 56-COLEÇÃO PALNTAR p. 1–110.

BORGES, A. L. et al. A cultura da banana/Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Em: FERNANDO DO AMARAL PEREIRA; MAYARA ROSA CARNEIRO (Ed.). **Coleção Plantar**, 56. 3. ed. rev. e amp. ed. BRASÍLIA: Embrapa Informação Tecnológica, 2006b. v. 56-COLEÇÃO PALNTAR p. 1–110.

BOURTOOM, T. et al. Effect of Plasticizer Type and Concentration on the Properties of Edible Film from Water-Soluble Fish Proteins in Surimi Wash-Water. **Food Science and Technology International**, v. 12, n. 2, p. 119–126, 1 abr. 2006.

BROWNING, L. C.; COWIESON, A. J. Interactive effects of vitamin D3 and strontium on performance, nutrient retention, and bone. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 5, p. 1080–1087, 30 mar. 2015.

CABRAL, E. M. et al. Antimicrobials from Seaweeds for Food Applications. **Marine Drugs**, v. 19, n. 4, p. 211, 11 abr. 2021.

CAI, B. et al. Transcriptome and Gene Co-Expression Network Analysis Identifying Differentially Expressed Genes and Signal Pathways Involved in the Height Development of Banana (*Musa spp.*). **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 3, p. 2628, 30 jan. 2023.

CARDOSO, R. V. C. et al. Physicochemical characterization and microbiology of wheat and rye flours. **Food Chemistry**, v. 280, p. 123–129, maio 2019.

CARLSEN, L. Food Waste: The Good, the Bad, and (Maybe) the Ugly. **Standards**, v. 3, n. 1, p. 43–56, 16 fev. 2023.

CARVALHO, D. DA S. M. A. A. F. D. S. C. L. Food losses and waste in the context of the Circular Economy: main quantification methodologies. **Gestão & Regionalidade**, v. 40, p. e20248497-e20248497, 2024., v. 40, 5 mar. 2024a.

CASTELO-BRANCO, V. N. et al. The use of green banana (*Musa balbisiana*) pulp and peel flour as an ingredient for tagliatelle pasta. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, n. 0, 3 ago. 2017.

CAZÓN, P. et al. Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 68, p. 136–148, jul. 2017.

CHA, D. S.; EUN, J. S.; JEON, H. Anti-inflammatory and antinociceptive properties of the leaves of *Eriobotrya japonica*. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 134, n. 2, p. 305–312, mar. 2011.

CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE (CLSI). **Metodologia dos Testes de Sensibilidade a Agentes Antimicrobianos por Diluição para Bactéria de Crescimento Aeróbico: Norma Aprovada - Sexta Edição (M7-A6) AGENCIA NACIONAL DE VIGILANCIA SANITARIA**. Wayne, PA, Brasil: [s.n.].

CORREIA, V. T. DA V. **Incorporação das cascas de jaboticaba ou jambolão no desenvolvimento de produtos provenientes da extração do amido de sorgo: filmes biodegradáveis e bebidas vegetais fermentadas**. TESE DE DOUTORADO—BELO HORIZONTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, 20 set. 2024.

COSTA, B. P. et al. *Eriobotrya japonica* fruits and its by-products: A promising fruit with bioactive profile and trends in the food application – A bibliometric review. **Food Bioscience**, v. 50, p. 102099, dez. 2022a.

COSTA, B. P. et al. *Eriobotrya japonica* fruits and its by-products: A promising fruit with bioactive profile and trends in the food application – A bibliometric review. **Food Bioscience**, v. 50, p. 102099, dez. 2022b.

DA SILVA FILIPINI, G.; ROMANI, V. P.; GUIMARÃES MARTINS, V. Biodegradable and active-intelligent films based on methylcellulose and jambolão (*Syzygium cumini*) skins extract for food packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 109, p. 106139, dez. 2020.

DAVIDSON, P. M.; TAYLOR, T. M.; DAVID, J. R. D. **Antimicrobials in Food**. Fourth edition. | Boca Raton: CRC Press, 2020.: CRC Press, 2020.

DELFIANIAN, M.; KENARI, R. E.; SAHARI, M. A. Antioxidant Activity of Loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) Fruit Peel and Pulp Extracts in Stabilization of Soybean Oil During Storage Conditions. **International Journal of Food Properties**, v. 18, n. 12, p. 2813–2824, 2 dez. 2015.

DJOKO, K. Y. et al. The Role of Copper and Zinc Toxicity in Innate Immune Defense against Bacterial Pathogens. **Journal of Biological Chemistry**, v. 290, n. 31, p. 18954–18961, jul. 2015.

DOMINGUES LIMA, J. et al. Waste management of pseudostem to increase the growth of banana seedlings. **Acta Agronómica**, v. 69, n. 3, 12 abr. 2021.

DOS SANTOS, K. L. et al. Food losses and waste: Reflections on the current brazilian scenario. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, 2020.

DÜLGER, B. et al. Antimicrobial Activity of Three Endemic Verbascum Species. **Pharmaceutical Biology**, v. 40, n. 8, p. 587–589, 29 jan. 2002.

DURÁN-SANDOVAL, D.; DURÁN-ROMERO, G.; ULERI, F. How Much Food Loss and Waste Do Countries with Problems with Food Security Generate? **Agriculture**, v. 13, n. 5, p. 966, 27 abr. 2023.

EFSA PANEL ON DIETETIC PRODUCTS, N. AND ALLERGIES. Scientific Opinion on the substantiation of a health claim related to magnesium and contribution to normal development of bone pursuant to Article 14 of Regulation (EC) No 1924/2006. **EFSA Journal**, v. 11, n. 7, jul. 2013.

EKESA, B. et al. Provitamin A carotenoid content of unripe and ripe banana cultivars for potential adoption in eastern Africa. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 43, p. 1–6, nov. 2015.

EL HALAL, S. L. M. **Desenvolvimento e caracterização de filmes à base de isolado protéico de resíduos de corvina (*Micropogonias furnieri*) e óleo de palma**. Dissertação de mestrado—Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Banana**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/banana>>. Accessed Date: 22 November 2024>. Acesso em: 21 nov. 2024.

ESENER, A. A. et al. EFFECT OF WATER ACTIVITY ON MICROBIAL GROWTH. Em: **Scientific and Engineering Principles**. [s.l.] Elsevier, 1981. p. 339–344.

ESPINEL-INGROFF, A. et al. Multicenter Evaluation of a New Disk Agar Diffusion Method for Susceptibility Testing of Filamentous Fungi with Voriconazole, Posaconazole, Itraconazole, Amphotericin B, and Caspofungin. **Journal of Clinical Microbiology**, v. 45, n. 6, p. 1811–1820, jun. 2007.

ESPINOZA-QUIÑONES, F. R. et al. Insights on limits of detection, precision and accuracy in TXRF analysis of trace and major elements in environmental solid suspensions. **Applied Radiation and Isotopes**, v. 137, p. 80–90, jul. 2018.

ESPITIA, P. J. P. et al. Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties - A review. **Food Hydrocolloids**, v. 35, p. 287–296, mar. 2014.

ESSIEN, S. O.; YOUNG, B.; BAROUTIAN, S. Recent advances in subcritical water and supercritical carbon dioxide extraction of bioactive compounds from plant materials. **Trends in Food Science & Technology**, v. 97, p. 156–169, mar. 2020.

EVANS, W. H.; READ, J. I. Determination of lithium, rubidium and strontium in foodstuffs. **The Analyst**, v. 110, n. 6, p. 619, 1985.

FALGUERA, V. et al. Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, n. 6, p. 292–303, jun. 2011a.

FALGUERA, V. et al. Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, n. 6, p. 292–303, jun. 2011b.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION). **Suite of Food Security Indicators**. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/FS>>. Acesso em: 20 out. 2024.

FAO (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA). **Food Loss and Food Waste**. Disponível em: <<https://www.fao.org/food-loss-and-food-waste/en/>>. Acesso em: 21 nov. 2024.

FAOSTAT. **Banana Production Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura**. Disponível em: <FAOSTAT>. Acesso em: 2 set. 2024.

FEHLBERG, L. C. C. et al. In vitro susceptibility of Burkholderia cepacia complex isolates: Comparison of disk diffusion, Etest®, agar dilution, and broth microdilution methods. **Diagnostic Microbiology and Infectious Disease**, v. 86, n. 4, p. 422–427, dez. 2016.

FERNÁNDEZ-PAN, I.; ROYO, M.; IGNACIO MATÉ, J. Antimicrobial Activity of Whey Protein Isolate Edible Films with Essential Oils against Food Spoilers and Foodborne Pathogens. **Journal of Food Science**, v. 77, n. 7, 6 jul. 2012.

FERRERES, F. et al. Improved loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) cultivars: Variation of phenolics and antioxidative potential. **Food Chemistry**, v. 114, n. 3, p. 1019–1027, jun. 2009.

FOOD SAFETY BRAZIL. **Diferença entre atividade de água (aw) e o teor de umidade nos alimentos**. Disponível em: <<https://foodsafetybrazil.org/diferenca-entre-atividade-de-agua-aw-e-o-teor-de-umidade-nos-alimentos/>>. Acesso em: 22 nov. 2024.

FRANCO, C. M.; VÁZQUEZ, B. I. Natural Compounds as Antimicrobial Agents. **Antibiotics**, v. 9, n. 5, p. 217, 29 abr. 2020.

FRONZA, P. et al. Bionanocomposite Based on Cassava Waste Starch, Locust Bean Galactomannan, and Cassava Waste Cellulose Nanofibers. **Foods**, v. 13, n. 2, p. 202, 8 jan. 2024.

GALALI, Y.; OMAR, Z. A.; SAJADI, S. M. **Biologically active components in by-products of food processing**. **Food Science and Nutrition**Wiley-Blackwell, , 1 jul. 2020.

GEORGANAS, A. et al. Bioactive Compounds in Food Waste: A Review on the Transformation of Food Waste to Animal Feed. **Foods**, v. 9, n. 3, p. 291, 5 mar. 2020.

GÓMEZ-GARCÍA, R. et al. Valorisation of food agro-industrial by-products: From the past to the present and perspectives. **Journal of Environmental Management**, v. 299, p. 113571, dez. 2021.

GONTARD, N. et al. L'emballage alimentaire et l'innovation écologique dans toutes leurs dimensions. **Innovations Agronomiques**, v. 58, p. 1–19, 2017.

GOVERNO FEDERAL DO BRASIL. **Lei de Biossegurança nº 11.105, de 24 de março de 2005**. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br/topicos/10923347/lei-n-11105-de-24-de-marco-de-2005#:~:text=Regulamenta%20os%20incisos%20II%2C%20IV%20e%20V%20do,de%20dezembro%20de%202003%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias.?msockid=0364348be27a6d541cb1208de32d6cfe>>. Acesso em: 18 out. 2024.

GUTIÉRREZ, T. J. et al. Structural and mechanical properties of edible films made from native and modified cush-cush yam and cassava starch. **Food Hydrocolloids**, v. 45, p. 211–217, mar. 2015.

HAMANN, D. et al. Active edible films for application in meat products. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. e13610716379, 16 jun. 2021.

HAMED, I.; JAKOBSEN, A. N.; LERFALL, J. Sustainable edible packaging systems based on active compounds from food processing byproducts: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 21, n. 1, p. 198–226, 14 jan. 2022.

HAMINIUK, C. W. I. et al. Phenolic compounds in fruits – an overview. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 47, n. 10, p. 2023–2044, 4 out. 2012.

HAMISH FORBES et al. **ÍNDICE DE DESPERDÍCIO ALIMENTAR RELATÓRIO 2021**. Nairobi: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.unep.org/resources/report/unep-food-waste-index-report-2021>>. Acesso em: 26 ago. 2024.

HAMISH FORBES et al. **Food Waste Index Report 2024** United Nations Environment Programme (UNEP). Nairobi: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.unep.org/resources/publication/food-waste-index-report-2024>>.

HAPPI EMAGA, T. et al. Dietary fibre components and pectin chemical features of peels during ripening in banana and plantain varieties. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 10, p. 4346–4354, jul. 2008.

HARRIS, E. D.; O'DELL, B. L. Copper and Amine Oxidases in Connective Tissue Metabolism. Em: [s.l: s.n.]. p. 267–284.

HASAN, M. et al. Biodegradable and edible film: A counter to plastic pollution. **International Journal of Chemical Studies**, v. 8, n. 1, p. 2242–2245, 1 jan. 2020a.

HASAN, M. et al. Biodegradable and edible film: A counter to plastic pollution. **International Journal of Chemical Studies**, v. 8, n. 1, p. 2242–2245, 1 jan. 2020b.

HASSAN, H. F. , H. et al. Exploring the Potentials of Banana (*Musa Sapientum*) Peels in Feed Formulation. **International Journal of Advanced Research in Chemical Science**, v. 5, n. 5, 2018.

HELLIN, D. et al. Remediation for TXRF saturation effects on microdroplet residues from preconcentration methods on semiconductor wafers. **Journal of Analytical Atomic Spectrometry**, v. 20, n. 7, p. 652, 2005.

HENDRAWATI; RATRI ARIATMI NUGRAHANI. **Characteristics of Edible Film from Rice Bran Starch as Affected by the Concentration of Sorbitol Plasticizer**. ICERAM 2022. **Anais...ICERAM 2022**, 2 nov. 2022.

HENZ, G. P.; PORPINO, G. Food losses and waste: how Brazil is facing this global challenge? **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 4, p. 472–482, out. 2017.

HUANG, D.; OU, B.; PRIOR, R. L. The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 53, p. 1–16, 2005.

HWANG, Y.-G. et al. Chemical Components and Antioxidative Effects of Eriobotrya japonica Lindl. Leaf. **Journal of Life Science**, v. 20, n. 11, p. 1625–1633, 30 nov. 2010a.

HWANG, Y.-G. et al. Chemical Components and Antioxidative Effects of Eriobotrya japonica Lindl. Leaf. **Journal of Life Science**, v. 20, n. 11, p. 1625–1633, 30 nov. 2010b.

IBRAHIM, R. M. A review on Active Constituents and Pharmacological Effects of Eriobotrya Japonica Lindl. (Loquat). **Iraqi Journal of Pharmaceutical Sciences** (**P-ISSN: 1683 - 3597** , **E-ISSN : 2521 - 3512**), v. 30, n. 1, p. 41–55, 15 jun. 2021.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz - Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. Disponível em: <http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosia_l_2008.pdf>. Acesso em: 18 out. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola** IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). BRASÍLIA-DF: [s.n.]. Disponível em:

<<https://www.ibge.gov.br/busca.html?searchword=BANANA>>. Acesso em: 2 set. 2024.

INTERNATIONAL TRADE CENTRE (ITC). **Trade Map: Trade Statistics for International Business Development**. Disponível em: <<https://www.trademap.org/>>. Acesso em: 21 nov. 2024.

IQBAL, H. et al. Extracts of *Sida cordifolia* contain polysaccharides possessing immunomodulatory activity and rosmarinic acid compounds with antibacterial activity. **BMC Complementary Medicine and Therapies**, v. 22, n. 1, p. 27, 27 dez. 2022.

JAGANNATH, J. H. et al. Mechanical and barrier properties of edible starch–protein-based films. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 88, n. 1, p. 64–71, 4 abr. 2003.

JEYA JEEVAHAN, J. et al. Scaling up difficulties and commercial aspects of edible films for food packaging: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 100, p. 210–222, jun. 2020a.

JEYA JEEVAHAN, J. et al. Scaling up difficulties and commercial aspects of edible films for food packaging: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 100, p. 210–222, jun. 2020b.

JIA, Z.; DUMONT, M.-J.; ORSAT, V. Encapsulation of phenolic compounds present in plants using protein matrices. **Food Bioscience**, v. 15, p. 87–104, set. 2016.

JORGE, A. M. S. et al. Edible films produced from agrifood by-products and wastes. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 88, p. 103442, ago. 2023.

KAMBLE, M. et al. Optimization of Convective Tray-Drying Process Parameters for Green Banana Slices Using Response Surface Methodology and Its Characterization. **Journal of Food Quality**, v. 2022, p. 1–17, 7 nov. 2022.

KAMEL, N. A.; ABD EL-MESSIEH, S. L.; SALEH, N. M. Chitosan/banana peel powder nanocomposites for wound dressing application: Preparation and characterization. **Materials Science and Engineering: C**, v. 72, p. 543–550, mar. 2017.

KANAZAWA, K.; SAKAKIBARA, H. High content of dopamine, a strong antioxidant, in cavendish banana. **Journal of agricultural and food chemistry**, p. 844–848, 2000.

KEHL-FIE, T. E.; SKAAR, E. P. Nutritional immunity beyond iron: a role for manganese and zinc. **Current Opinion in Chemical Biology**, v. 14, n. 2, p. 218–224, abr. 2010.

KHOUYA, T. et al. Loquat (*Eriobotrya Japonica* (Thunb.) Lindl.): Evaluation of Nutritional Value, Polyphenol Composition, Antidiabetic Effect, and Toxicity of Leaf Aqueous Extract. **SSRN Electronic Journal**, 2022a.

KHOUYA, T. et al. Loquat (*Eriobotrya japonica* (Thunb) Lindl.): Evaluation of nutritional value, polyphenol composition, antidiabetic effect, and toxicity of leaf aqueous extract. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 296, p. 115473, out. 2022b.

KIM, M.-J. et al. Neuroprotective effects of *Eriobotrya japonica* against β -amyloid-induced oxidative stress and memory impairment. **Food and Chemical Toxicology**, v. 49, n. 4, p. 780–784, abr. 2011.

KING, T.; DYKES, G.; KRISTIANTI, R. Comparative Evaluation of Methods Commonly Used to Determine Antimicrobial Susceptibility to Plant Extracts and Phenolic Compounds. **Journal of AOAC INTERNATIONAL**, v. 91, n. 6, p. 1423–1429, 1 nov. 2008.

KNO, P. A. O.; INGRID LESSA LEAL; TATIANA BARRETO ROCHA NERY. Potential Application of Banana Peel Flour in Biofilm. **JOURNAL OF BIOENGINEERING AND TECHNOLOGY APPLIED TO HEALTH**, v. 4, n. 3, p. 85–89, 25 nov. 2021.

KOBA, K. et al. Effect of loquat (*Eriobotrya japonica*) extracts on LDL oxidation. **Food Chemistry**, v. 104, n. 1, p. 308–316, jan. 2007a.

KOBA, K. et al. Effect of loquat (*Eriobotrya japonica*) extracts on LDL oxidation. **Food Chemistry**, v. 104, n. 1, p. 308–316, jan. 2007b.

KOLESNIK-GOLDMANN, N. et al. Comparison of Disk Diffusion, E-Test, and Broth Microdilution Methods for Testing In Vitro Activity of Cefiderocol in *Acinetobacter baumannii*. **Antibiotics**, v. 12, n. 7, p. 1212, 20 jul. 2023.

KONG, I.; DEGRAEVE, P.; PUI, L. P. Polysaccharide-Based Edible Films Incorporated with Essential Oil Nanoemulsions: Physico-Chemical, Mechanical Properties and Its Application in Food Preservation—A Review. **Foods**, v. 11, n. 4, p. 555, 16 fev. 2022a.

KONG, I.; DEGRAEVE, P.; PUI, L. P. Polysaccharide-Based Edible Films Incorporated with Essential Oil Nanoemulsions: Physico-Chemical, Mechanical Properties and Its Application in Food Preservation—A Review. **Foods**, v. 11, n. 4, p. 555, 16 fev. 2022b.

KUMAR, B. R. **Application of HPLC and ESI-MS techniques in the analysis of phenolic acids and flavonoids from green leafy vegetables (GLVs)**. **Journal of Pharmaceutical Analysis** Xi'an Jiaotong University, , 1 dez. 2017.

KURĆUBIĆ, V. et al. **NATURAL ANTIMICROBIAL AGENTS: APPLICATION IN FOOD PRESERVATION AND FOOD BORN DISEASE CONTROL**. 1st INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BIOTECHNOLOGY: proceedings. **Anais...**University of Kragujevac, Faculty of Agronomy, mar. 2023.

LABUZA, T. P.; T. S. R.; K. M. Water content and stability of low-moisture and intermediate-moisture foods. **Food Technology**, p. 543–550, 1970.

LABUZA, T.; SHAFIUR RAHMAN, M. Water Activity and Food Preservation. Em: [s.l: s.n.]. p. 447–476.

LEE, K.-I.; KIM, S.-M. Antioxidative and Antimicrobial Activities of *Eriobotrya japonica* Lindl. Leaf Extracts. **Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition**, v. 38, n. 3, p. 267–273, 31 mar. 2009.

LIU, C. et al. Heat sealable soluble soybean polysaccharide/gelatin blend edible films for food packaging applications. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 24, p. 100485, jun. 2020.

LIU, Y. et al. Biological Activities of Extracts from Loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.): A Review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 17, n. 12, p. 1983, 6 dez. 2016a.

LIU, Y. et al. Biological Activities of Extracts from Loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.): A Review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 17, n. 12, p. 1983, 6 dez. 2016b.

LOPES, S. et al. In vitro determination of the sun protection factor (SPF) and photochemoprotection potential of aqueous extract of banana peels (*Musa* sp.) against UV-B radiation. **Biotechnology Research and Innovation**, v. 6, n. 2, p. e2022007, 2022.

LOYOLA, A. C. DE F. E. **Emprego de espectrometria de massas com ionização paper spray para determinação do perfil químico da farinha de casca e de polpa da banana verde Cavendish (*Musa* AAA) e avaliação do seu potencial funcional**. Dissertação de Mestrado—Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 14 ago. 2019.

LU, L. et al. Magnesium intake is inversely associated with risk of obesity in a 30-year prospective follow-up study among American young adults. **European Journal of Nutrition**, v. 59, n. 8, p. 3745–3753, 24 dez. 2020.

LUZ, R. F. et al. Development of a Halochromic, Antimicrobial, and Antioxidant Starch-Based Film Containing Phenolic Extract from Jaboticaba Peel. **Foods**, v. 12, n. 3, p. 653, 2 fev. 2023.

MAARES, M.; HAASE, H. Zinc and immunity: An essential interrelation. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 611, p. 58–65, dez. 2016.

MAHER, K.; YASSINE, B.; SOFIANE, B. Anti-inflammatory and antioxidant properties of Eriobotrya japonica leaves extracts. **African Health Sciences**, v. 15, n. 2, p. 613, 28 maio 2015.

MARCHETTI, M. et al. Iron Metabolism at the Interface between Host and Pathogen: From Nutritional Immunity to Antibacterial Development. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 6, p. 2145, 20 mar. 2020.

MARIA PORCU, O. Prospecting the Physical, Chemical and Nutritional Characteristics of Commercial Fruit Flours. **Nutrition & Food Science International Journal**, 20 dez. 2016.

MARQUES, P. R. R. et al. NUTRITIONAL STATUS AND PRODUCTION OF 'PRATA-ANÃ' (AAB) AND 'BRS PLATINA' (AAAB) BANANA PLANTS WITH ORGANIC FERTILIZATION. **Nativa**, v. 10, n. 1, p. 60–68, 14 mar. 2022.

MARTINS, M. M. **Otimização da extração de compostos fenólicos em PANC: Estudo de azedinha (*Rumex acetosa* L), capuchinha (*Tropaeolum majus*) e peixinho (*Stachys byzantina* K. Koch) por cromatografia líquida**. Dissertação de mestrado—Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais., 2024.

MASTERSON, K. et al. Development of a low-temperature extrusion process for production of GRAS bioactive-polymer loaded compounds for targeting antimicrobial-resistant (AMR) bacteria. **Science of The Total Environment**, v. 800, p. 149545, dez. 2021.

MAZZUCOTELLI, C. A. et al. Chemical characterization and functional properties of selected leafy vegetables for innovative mixed salads. **Journal of Food Biochemistry**, v. 42, n. 1, p. e12461, fev. 2018.

MEDEIROS SILVA, V. D. et al. Biodegradable edible films of ripe banana peel and starch enriched with extract of Eriobotrya japonica leaves. **Food Bioscience**, v. 38, p. 100750, dez. 2020a.

MEDEIROS SILVA, V. D. et al. Biodegradable edible films of ripe banana peel and starch enriched with extract of *Eriobotrya japonica* leaves. **Food Bioscience**, v. 38, p. 100750, dez. 2020b.

MEDINA JARAMILLO, C. et al. Biodegradability and plasticizing effect of yerba mate extract on cassava starch edible films. **Carbohydrate Polymers**, v. 151, p. 150–159, out. 2016.

MELNYK, L. J. et al. Absorption of strontium by foods prepared in drinking water. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 53, p. 22–26, maio 2019.

MORAIS, J. L. DE. **Desenvolvimento e caracterização de barras de cereais e biscoitos tipo cookie elaborados a partir da farinha da entrecasca de melancia**. Graduação em Nutrição—Cuite: Centro de Educação e Saúde (CES) - Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), 10 out. 2015.

MORDOR INTELLIGENCE. **Tamanho do mercado de banana e análise de ações – Tendências e previsões de crescimento (2024 – 2029)**. Disponível em: <Source: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/banana-market>>. Acesso em: 21 nov. 2024.

MOTA, R. V. DA; LAJOLO, F. M.; CORDENUNSI, B. R. Composição em carboidratos de alguns cultivares de banana (*Musa* spp.) durante o amadurecimento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 17, n. 2, p. 94–97, ago. 1997.

MUELLER, K.; SCHOENWEITZ, C.; LANGOWSKI, H. Thin Laminate Films for Barrier Packaging Application – Influence of Down Gauging and Substrate Surface Properties on the Permeation Properties. **Packaging Technology and Science**, v. 25, n. 3, p. 137–148, 26 abr. 2012.

MUHAMMAD ANSARI, N. A. I. et al. Nutritional Content and Bioactive Compounds of Banana Peel and Its Potential Utilization: A Review. **Malaysian Journal of Science Health & Technology**, v. 9, n. 1, p. 74–86, 11 abr. 2023.

NASCIMENTO et al. **Aproveitamento da casca de banana como fonte de antioxidantes**. 58º Congresso Brasileiro de Química. **Anais...**Sao Luiz-Maranhão-Centro de Eventos Paulo Freire da UFMA: Instituto Federal do Rio de Janeiro; Instituto Nacional de Tecnologia, 6 nov. 2018. Disponível em: <<https://www.abq.org.br/cbq/2018/trabalhos/13/1876-26723.html>>. Acesso em: 27 out. 2024

NASCIMENTO FILHO, W. B. DO; FRANCO, C. R. Potential Assessment of Waste Produced Through the Agro-Industrial Processing in Brazil. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 1968–1987, 2015.

NG, Z. J. et al. Application of bacteriocins in food preservation and infectious disease treatment for humans and livestock: a review. **RSC Advances**, v. 10, n. 64, p. 38937–38964, 2020.

NGUYEN, T. T. et al. Enhanced antimicrobial activities and physiochemical properties of edible film based on chitosan incorporated with *Sonneratia caseolaris* (L.) Engl. leaf extract. **Progress in Organic Coatings**, v. 140, p. 105487, mar. 2020.

NIDHI PRAMOD AGARWAL** & MITU SAINI*; NIDHI AGARWAL** & MITU SAINI*. EDIBLE COATING OF FRUITS AND VEGETABLES: A REVIEW. **International Journal of Scientific Research and Modern Education (IJSRME)**, v. 1, n. 2455 – 5630, p. 1–17, 2016.

NWEZE, E. I.; MUKHERJEE, P. K.; GHANNOUM, M. A. Agar-Based Disk Diffusion Assay for Susceptibility Testing of Dermatophytes. **Journal of Clinical Microbiology**, v. 48, n. 10, p. 3750–3752, out. 2010.

OCLOO, F. et al. Physico-chemical, functional and pasting characteristics of flour produced from Jackfruits (*Artocarpus heterophyllus*) seeds. **Agriculture and Biology Journal of North America**, v. 1, n. 5, p. 903–908, set. 2010.

OLIVEIRA, M. D. V. **BYPRODUCTS OF ARATICUM AND PEQUI: STUDY OF ANTIOXIDANT ACTIVITY OF BIOACTIVE COMPOUNDS IN THE PROTECTION OF**

OXIDATIVE STRESS SUBPRODUTOS DE ARATICUM E PEQUI: ESTUDO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS COMPOSTOS BIOATIVOS NA PROTEÇÃO AO ESTRESSE OXIDATIVO. CAMPINAS: [s.n.].

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Diretriz: ingestão de sódio para adultos e crianças.** Disponível em: <<https://www.who.int/publications/i/item/9789241504836>>. Acesso em: 14 nov. 2024.

ORSUWAN, A.; SOTHORNVIT, R. Reinforcement of banana flour biocomposite film with beeswax and montmorillonite and effects on water barrier and physical properties. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 53, n. 12, p. 2642–2649, 21 dez. 2018a.

ORSUWAN, A.; SOTHORNVIT, R. Reinforcement of banana flour biocomposite film with beeswax and montmorillonite and effects on water barrier and physical properties. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 53, n. 12, p. 2642–2649, 21 dez. 2018b.

OULAHAL, N.; DEGRAEVE, P. Phenolic-Rich Plant Extracts With Antimicrobial Activity: An Alternative to Food Preservatives and Biocides? **Frontiers in Microbiology**, v. 12, 4 jan. 2022.

OURO-SALIM, O.; GUARNIERI, P.; FANHO, A. D. Unlocking value: circular economy in ngos' food waste reduction efforts in Brazil and Togo. **Discover Environment**, v. 2, n. 1, 9 maio 2024a.

OURO-SALIM, O.; GUARNIERI, P.; FANHO, A. D. Unlocking value: circular economy in ngos' food waste reduction efforts in Brazil and Togo. **Discover Environment**, v. 2, n. 1, 9 maio 2024b.

PARFITT, J.; CROKER, T.; BROCKHAUS, A. Global Food Loss and Waste in Primary Production: A Reassessment of Its Scale and Significance. **Sustainability**, v. 13, n. 21, p. 12087, 2 nov. 2021.

PASCALL, M.; PASCALL, M. The Application of Edible Polymeric Films and Coatings in the Food Industry. **Journal of Food Processing & Technology**, v. 04, n. 02, 2012.

PĂUȘESCU, I. et al. Bio-Based pH Indicator Films for Intelligent Food Packaging Applications. **Polymers**, v. 14, n. 17, p. 3622, 1 set. 2022.

PAWŁOWSKA, A. M. et al. Antioxidant and Antiproliferative Activities of Phenolic Extracts of *Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl. Fruits and Leaves. **Plants**, v. 12, n. 18, p. 3221, 10 set. 2023.

PBMH & PIF - PROGRAMA BRASILEIRO PARA A MODERNIZAÇÃO DA HORTICULTURA & PRODUÇÃO INTEGRADA DE FRUTAS. Normas de Classificação de Banana. Em: CEAGESP (Ed.). **PBMH & PIF - PROGRAMA BRASILEIRO PARA A MODERNIZAÇÃO DA HORTICULTURA & PRODUÇÃO INTEGRADA DE FRUTA**. 29. ed. SaoPaulo: CEAGESP, 2006. v. 29p. 1–8.

PEDREIRO, S. et al. Bioactive Edible Films and Coatings Based in Gums and Starch: Phenolic Enrichment and Foods Application. **Coatings**, v. 11, n. 11, p. 1393, 15 nov. 2021.

PELISSARI, F. M. et al. Comparative study on the properties of flour and starch films of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). **Food Hydrocolloids**, v. 30, n. 2, p. 681–690, mar. 2013a.

PELISSARI, F. M. et al. Comparative study on the properties of flour and starch films of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). **Food Hydrocolloids**, v. 30, n. 2, p. 681–690, mar. 2013b.

PEREIRA, A.; MARASCHIN, M. Banana (*Musa* spp) from peel to pulp: Ethnopharmacology, source of bioactive compounds and its relevance for human health. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 160, p. 149–163, fev. 2015a.

PEREIRA, A.; MARASCHIN, M. Banana (*Musa spp*) from peel to pulp: Ethnopharmacology, source of bioactive compounds and its relevance for human health. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 160, p. 149–163, fev. 2015b.

PEREIRA, M. DO S. V. et al. Estudo sobre métodos utilizados para a determinação da atividade antimicrobiana de extratos de plantas medicinais: elucidações e limitações das técnicas / Study on methods used to determine the antimicrobial activity of medicinal plants extracts: clearance and limitations of the techniques. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 26085–26104, 12 abr. 2022a.

PEREIRA, M. DO S. V. et al. Estudo sobre métodos utilizados para a determinação da atividade antimicrobiana de extratos de plantas medicinais: elucidações e limitações das técnicas / Study on methods used to determine the antimicrobial activity of medicinal plants extracts: clearance and limitations of the techniques. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 26085–26104, 12 abr. 2022b.

PERES, R. et al. *ACHILLEA MILLEFOLIUM* – ASTERACEAE: ESTUDO FITOQUÍMICO, ESPECTROFOTOMÉTRICO E DA ATIVIDADE ANTIFÚNGICA (*COLLETOTRICHUM MUSAE*). **Revista Eletrônica de Farmácia**, v. 6, n. 3, 6 out. 2009.

PÉREZ, M.; DOMINGUEZ-LÓPEZ, I.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. The Chemistry Behind the Folin–Ciocalteu Method for the Estimation of (Poly)phenol Content in Food: Total Phenolic Intake in a Mediterranean Dietary Pattern. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 71, n. 46, p. 17543–17553, 22 nov. 2023.

RABABAH, T. M. et al. Antioxidant activities, total phenolics and HPLC analyses of the phenolic compounds of extracts from common Mediterranean plants. **Natural Product Research**, v. 25, n. 6, p. 596–605, mar. 2011.

RAȚU, R. N. et al. **Application of Agri-Food By-Products in the Food Industry. Agriculture (Switzerland)** Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), , 1 ago. 2023a.

RAȚU, R. N. et al. **Application of Agri-Food By-Products in the Food Industry. Agriculture (Switzerland)** Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), , 1 ago. 2023b.

REBELLO, L. P. G. et al. Flour of banana (Musa AAA) peel as a source of antioxidant phenolic compounds. **Food Research International**, v. 55, p. 397–403, jan. 2014a.

REBELLO, L. P. G. et al. Flour of banana (Musa AAA) peel as a source of antioxidant phenolic compounds. **Food Research International**, v. 55, p. 397–403, jan. 2014b.

REGINA STORCK, C. I. et al. Folhas, talos, cascas e sementes de vegetais: composição nutricional, aproveitamento na alimentação e análise sensorial de preparações Leaves, stalk, pell and seeds of vegetables: nutritional composition, utilization and sensory analysis in food preparations. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 43, n. 3, p. 537–543, 1 mar. 2013.

RHIM, J.-W.; PARK, H.-M.; HA, C.-S. Bio-nanocomposites for food packaging applications. **Progress in Polymer Science**, v. 38, n. 10–11, p. 1629–1652, out. 2013.

RIAZ, A. et al. Effect of Chinese chives (*Allium tuberosum*) addition to carboxymethyl cellulose based food packaging films. **Carbohydrate Polymers**, v. 235, p. 115944, maio 2020.

ROMANO, G. et al. An Approach for Monitoring the Moisture Content Changes of Drying Banana Slices with Laser Light Backscattering Imaging. **Food and Bioprocess Technology**, v. 1, n. 4, p. 410–414, 12 dez. 2008.

ROMILDO MORANT DE HOLANDA et al. Banana growing and its climate suitability in the municipality of Recife-Pe, Brazil. **International Journal of Science and Research Archive**, v. 6, n. 1, p. 068–077, 30 maio 2022.

RONDANELLI, M. et al. An update on magnesium and bone health. **BioMetals**, v. 34, n. 4, p. 715–736, 6 ago. 2021.

RUFINO, M. DO S. M. et al. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996–1002, ago. 2010.

RUVIARO, C. F. et al. Food losses and wastes in brazil: a systematic review. **Desenvolvimento Socioeconômico em Debate**, v. 6, n. 1, p. 78, 30 abr. 2020.

S. K. S. A. BAKAR, N. A. F. J. Chemical and Functional Properties of Local Banana Peel Flour. **Journal of Food and Nutrition Research**, p. 492–496, 2018.

SABERI, B. et al. Physical, Barrier, and Antioxidant Properties of Pea Starch-Guar Gum Biocomposite Edible Films by Incorporation of Natural Plant Extracts. **Food and Bioprocess Technology**, v. 10, n. 12, p. 2240–2250, 21 dez. 2017.

SADLER, G. D.; MURPHY, P. A. pH and Titratable Acidity. Em: [s.l: s.n.]. p. 219–238.

SAJID, A. et al. Characterization and Antibacterial Properties of Eriobotrya Japonica Extract Loaded Silver-Nanoparticles. **Current Bioactive Compounds**, v. 17, n. 7, ago. 2021.

SALAZAR, D. et al. Green Banana (Musa acuminata AAA) Wastes to Develop an Edible Film for Food Applications. **Polymers**, v. 13, n. 18, p. 3183, 19 set. 2021.

SANJURJO, K. et al. Study of the performance of nisin supported in edible films. **Food Research International**, v. 39, n. 6, p. 749–754, jul. 2006.

SANTOS, S. F. DOS et al. Post-harvest losses of fruits and vegetables in supply centers in Salvador, Brazil: Analysis of determinants, volumes and reduction strategies. **Waste Management**, v. 101, p. 161–170, jan. 2020.

SAUTOUR, M. et al. A temperature-type model for describing the relationship between fungal growth and water activity. **International Journal of Food Microbiology**, v. 67, n. 1–2, p. 63–69, jul. 2001.

SCHOLZE, F. et al. X-Ray Detectors and XRF Detection Channels. Em: SPRINGER, B. H. (Ed.). **Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006. p. 199–308.

SCHULTZ, N. M. et al. Identification and correction of spectral contamination in $^2\text{H}/^1\text{H}$ and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ measured in leaf, stem, and soil water. **Rapid Communications in Mass Spectrometry**, v. 25, n. 21, p. 3360–3368, 15 nov. 2011.

SELIGRA, P. G. et al. Biodegradable and non-retrogradable eco-films based on starch–glycerol with citric acid as crosslinking agent. **Carbohydrate Polymers**, v. 138, p. 66–74, mar. 2016.

ŠEREMET, D. et al. Red Beetroot and Banana Peels as Value-Added Ingredients: Assessment of Biological Activity and Preparation of Functional Edible Films. **Polymers**, v. 14, n. 21, p. 4724, 4 nov. 2022.

SERNA, J.; BERGWITZ, C. Importance of Dietary Phosphorus for Bone Metabolism and Healthy Aging. **Nutrients**, v. 12, n. 10, p. 3001, 30 set. 2020.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. Banana: Acultura da banana. Em: SENAR (Ed.). **Coleção SENAR – 148**. 2.ed ed. Brasília: SENAR, 2011. v. COLEÇÃO SENAR-148p. 1–116.

SHAN, Y. et al. Long-term, high-intensity shading enhances triterpene production of loquat leaf through increasing foliar mineral nutrients. **Scientia Horticulturae**, v. 260, p. 108873, jan. 2020.

SILVA, MEDIROS V. MEDEIROS; COUTINHO M. M. C. et al. Biodegradable edible films of ripe banana peel and starch enriched with extract of *Eriobotrya japonica* leaves. **Food Bioscience**, v. 38, p. 100750, dez. 2020a.

SILVA CARVALHO, V.; CONTI-SILVA, A. C. Storage study of cereal bars formulated with banana peel flour. **Nutrition & Food Science**, v. 48, n. 3, p. 386–396, 14 maio 2018.

SILVA, N. H. A. DA. **Desenvolvimento e caracterização de embalagens biodegradáveis produzidas com o subproduto do azeite de oliva e coco verde (Cocos nucifera L.)**. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO—Belo Horizonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, 2024.

SILVA, S. O. et al. Banana Breeding Program at Embrapa. **Cropp Breeding and Applied Biotechnology**, v. 1, n. 4, p. 399–436, 31 dez. 2001.

SILVA, V. et al. USE OF PAPER SPRAY-MASS SPECTROMETRY TO DETERMINE THE CHEMICAL PROFILE OF RIPE BANANA PEEL FLOUR AND EVALUATION OF ITS PHYSICOCHEMICAL AND ANTIOXIDANT PROPERTIES. **Química Nova**, 2020b.

SILVA, V. D. M. **DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE FILMES COMESTÍVEIS PRODUZIDOS COM FARINHA DE CASCA DE BANANA MADURA E EXTRATO DAS FOLHAS DE Eriobotrya japonica Lindl.** Tese de Doutorado—Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 30 set. 2020.

SILVA, V. D. M. et al. FILMES E REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS: CONCEITO, BIOPOLÍMEROS, MÉTODOS DE PREPARO E APLICAÇÕES EM ALIMENTOS. Em: **Ciências Agrárias: o avanço da ciência no Brasil - Volume 5**. [s.l.] Editora Científica Digital, 2022a. p. 268–285.

SILVA, V. D. M. et al. FILMES E REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS: CONCEITO, BIOPOLÍMEROS, MÉTODOS DE PREPARO E APLICAÇÕES EM ALIMENTOS. Em: **Ciências Agrárias: o avanço da ciência no Brasil - Volume 5**. [s.l.] Editora Científica Digital, 2022b. p. 268–285.

SIMESSEN, M. G. Calcium, Inorganic Phosphorus, and Magnesium Metabolism in Health and Disease. Em: **Clinical Biochemistry of Domestic Animals**. [s.l.] Elsevier, 1970. p. 313–375.

SINGH, B. et al. Bioactive compounds in banana and their associated health benefits – A review. **Food Chemistry**, v. 206, p. 1–11, set. 2016.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. Em: ELSEVIER BV (Ed.). **Métodos em Enzimologia**. Elsevier BV ed. [s.l: s.n.]. v. 299p. 152–178.

SKAF, L. et al. Unfolding hidden environmental impacts of food waste: An assessment for fifteen countries of the world. **Journal of Cleaner Production**, v. 310, p. 127523, ago. 2021.

SUN, J. et al. Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 25, p. 7449–7454, 4 dez. 2002.

SURENDRHIRAN, D. et al. Marine algae as efficacious bioresources housing antimicrobial compounds for preserving foods - A review. **International Journal of Food Microbiology**, v. 358, p. 109416, nov. 2021.

SYUKRIANI, L. et al. Physicochemical characterization of peel, flesh and banana fruit cv. raja [Musa paradisiaca]. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 741, n. 1, p. 012006, 1 maio 2021.

TORRES-BAZURTO, J.; MAGNITSKIY, S.; SÁNCHEZ, J. D. Effect of fertilization with N on height, number of leaves, and leaf area in banana (Musa AAA Simmonds, cv. Williams). **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 13, n. 1, 24 nov. 2019.

TZIMA, K.; BRUNTON, N. P.; RAI, D. K. Evaluation of the impact of chlorophyll removal techniques on polyphenols in rosemary and thyme by-products. **Journal of Food Biochemistry**, v. 44, n. 3, 21 mar. 2020.

U. F. HASSAN et al. Exploring the Potentials of Banana (Musa Sapientum) Peels in Feed Formulation. **International Journal of Advanced Research in Chemical Science**, v. 5, n. 5, 2018.

UMARAW, P.; VERMA, A. K. Comprehensive review on application of edible film on meat and meat products: An eco-friendly approach. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 6, p. 1270–1279, 13 abr. 2017.

VALLE, M. P. V.; GUARNIERI, P.; FILIPPI, A. G. Adoção de embalagens plásticas sustentáveis agroalimentares: um olhar na dinâmica da produção orgânica e sustentável em face da Economia Circular. **Interações (Campo Grande)**, p. 211–227, 16 maio 2023.

VAN DIJK, M. et al. A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. **Nature Food**, v. 2, n. 7, p. 494–501, 21 jul. 2021.

VIEIRA, M. A. et al. **EFEITO DA TEMPERATURA DE DESIDRATAÇÃO SOBRE O TEOR COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXANDANTE DE EXTRATO DE FOLHAS DE ERIBOTRIA JAPONICA**. CONGRESSO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. **Anais...**BELÉM: CBCTA, 13 ago. 2018.

VU, H. T.; SCARLETT, C. J.; VUONG, Q. V. Phenolic compounds within banana peel and their potential uses: A review. **Journal of Functional Foods**, v. 40, p. 238–248, jan. 2018.

WANG, M. et al. Anti-diabetic effect of banana peel dietary fibers on type 2 diabetic mellitus mice induced by streptozotocin and high-sugar and high-fat diet. **Journal of Food Biochemistry**, v. 46, n. 10, 29 out. 2022.

XIE, Q. et al. Active edible films with plant extracts: a updated review of their types, preparations, reinforcing properties, and applications in muscle foods packaging and preservation. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 63, n. 32, p. 11425–11447, 21 dez. 2023.

XIE, Q.; LIU, G.; ZHANG, Y. Edible films/coatings containing bioactive ingredients with micro/nano encapsulation: A comprehensive review of their fabrications, fórmulas,

multifunctionality and applications in food packaging. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 64, n. 16, p. 5341–5378, 21 jun. 2024.

YEN, P. P.; KITTS, D. D.; PRATAP SINGH, A. Natural Acidification with Low-pH Fruits and Incorporation of Essential Oil Constituents for Organic Preservation of Unpasteurized Juices. **Journal of Food Science**, v. 83, n. 8, p. 2039–2046, 25 ago. 2018.

YONGXI, L. Análise quantitativa da relação entre a área foliar da bananeira brasileira e suas características morfológicas. **Jornal Chinês de Culturas Tropicais**, 2013.

ZAGO, V. C. P.; BARROS, R. T. DE V. Management of solid organic waste in Brazil: From legal ordinance to reality. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 219–228, 1 mar. 2019.

ZAHRA, N. Effect of Moisture Content on Aflatoxin B1 production in Wheat Flour Samples Collected from Lahore, Pakistan. **Pakistan Journal of Analytical & Environmental Chemistry**, v. 20, n. 2, p. 184–189, 31 dez. 2019.

ZHANG, W. et al. Improving the performance of edible food packaging films by using nanocellulose as an additive. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 166, p. 288–296, jan. 2021.

ZHANG, W.; LI, X.; JIANG, W. Development of antioxidant chitosan film with banana peels extract and its application as coating in maintaining the storage quality of apple. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 154, p. 1205–1214, jul. 2020.

ZHOU, J.-X. et al. Antioxidant, Cytotoxic, and Antimicrobial Activities of Glycyrrhiza glabra L., Paeonia lactiflora Pall., and Eriobotrya japonica (Thunb.) Lindl. Extracts. **Medicines**, v. 6, n. 2, p. 43, 30 mar. 2019.

ZHOU, Y.-X.; CAO, X.-Y.; PENG, C. Antimicrobial activity of natural products against MDR bacteria: A scientometric visualization analysis. **Frontiers in Pharmacology**, v. 13, 26 set. 2022.