



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA**

THAÍSE DA SILVA SANTOS

**FILME BIODEGRADÁVEL À BASE DE QUITOSANA E AMIDO
DE RESÍDUO AGROINDUSTRIAL PARA A CONSERVAÇÃO DE
FRUTA MINIMAMENTE PROCESSADA**

**SÃO CRISTÓVÃO
2024**

THAÍSE DA SILVA SANTOS

**FILME BIODEGRADÁVEL À BASE DE QUITOSANA E AMIDO
DE RESÍDUO AGROINDUSTRIAL PARA A CONSERVAÇÃO DE
FRUTA MINIMAMENTE PROCESSADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal de Sergipe como requisito à obtenção do Título de Mestre em Biotecnologia.

Orientador : Prof^a. Dr^a. Luciana Cristina Lins de Aquino Santana

**SÃO CRISTÓVÃO
2024**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

S237f Santos, Thaíse da Silva
Filme biodegradável à base de quitosana e amido de resíduo agroindustrial para conservação de fruta minimamente processada / Thaíse da Silva Santos ; orientadora Luciana Cristina Lins de Aquino Santana. – São Cristóvão, SE, 2024.
78 f.

Dissertação (mestrado em Biotecnologia) – Universidade Federal de Sergipe, 2024.

1. Biotecnologia – Indústria. 2. Resíduos agrícolas. 3. Embalagens. 4. Frutas – Subprodutos. 5. Compostos bioativos. 6. Biofilmes. 7. Melão – Conservação. I. Santana, Luciana Cristina Lins de Aquino, orient. II. Título.

CDU 606:62

THAÍSE DA SILVA SANTOS

**FILME BIODEGRADÁVEL À BASE DE QUITOSANA E AMIDO
DE RESÍDUO AGROINDUSTRIAL PARA A CONSERVAÇÃO DE
FRUTA MINIMAMENTE PROCESSADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal de Sergipe como requisito final à obtenção do Título de Mestre em Biotecnologia.

Documento assinado digitalmente
 LUCIANA CRISTINA LINS DE AQUINO SANTANA
Data: 14/09/2024 20:21:03-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**Orientador: Prof.^a Dr.^a Luciana Cristina Lins de Aquino
Santana**

(PROBIO/UFFS)

Documento assinado digitalmente
 ADRIANA DE JESUS SANTOS
Data: 20/09/2024 13:55:33-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Examinador externo : Prof. Dr.^a Adriana de Jesus Santos

(ITP/UNIT)

Documento assinado digitalmente
 BRANCILENE SANTOS DE ARAUJO
Data: 17/09/2024 18:27:11-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Examinador interno: Prof. Dr.^a Brancilene Santos de Araújo

(PROBIO/UFFS)

Aos que não me deixaram desistir e que, de alguma
maneira, me ajudaram a chegar até aqui, dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, Autor da minha história e Senhor da minha vida, por ter estado comigo durante todo o tempo me dando forças nos momentos de desânimo e dificuldade.

Aos meus pais Valéria e Francisco e aos meus irmãos Denilson e Vanilson por terem sido a minha base e por me lembrarem que eu nunca estive sozinha. À minha cunhada Dayse por todo o acolhimento, ao meu amado sobrinho Miguel e aos meus avós Antão e Anunciada pelo cuidado, mesmo à distância.

Aos meus amigos que, apesar de distantes e da minha ausência frequente, continuaram comigo, se preocupando com o meu bem estar e orando por mim. Em especial, meus agradecimentos ao Rodrigo Pinheiro por nos momentos de angústias, medos e incertezas, ter cedido seus ouvidos para me ouvir e ter me abraçado com suas palavras em forma de conselhos e motivações.

Aquele, *in memoriam*, que acreditou nos meus sonhos e que ao plantar a semente da curiosidade em mim, permitiu que a dúvida dele se tornasse, anos depois, o meu objeto de estudo.

Ao meu Orientador de Iniciação Científica e um dos maiores responsáveis por eu ter chegado até aqui, o Professor Dr. Abel Barbosa Lira Neto, que acreditou no meu potencial quando eu mesma duvidava, que segurou minha mão enquanto dava meus primeiros passos como pesquisadora e que com sua empatia, flexibilidade, paciência, humildade e generosidade, me ensinou a pensar sempre à frente e que Ciência não se faz sozinha (o), mas em parceria.

Aos meus colegas do Laboratório de Microbiologia e Bioengenharia (LMAB/UFS) pela ajuda e pelas vezes que tornaram os dias de trabalho mais leves. Em especial, meus agradecimentos ao Wesley pelo auxílio, pelos momentos descontraídos, pelas risadas sinceras que compartilhamos e pela sua dedicação, os quais exerceram um grande papel na finalização da minha pesquisa.

À minha Orientadora, Professora Dr^a Luciana Cristina Lins de Aquino Santana, pela disponibilidade e por todas as suas contribuições nessa fase da minha jornada acadêmica.

À Universidade Federal de Sergipe pela disponibilidade dos laboratórios os quais tornaram possível a execução deste trabalho.

À CAPES pelo auxílio financeiro por meio da concessão da bolsa de estudos.

E por fim, mas não menos importante, meus agradecimentos a todos aqueles que, direta ou indiretamente, permitiram a realização desse sonho. Recebam o meu MUITO OBRIGADA!

*“É justo que muito custe o que muito vale.”
(Teresa D’ávila)*

Tháise da Silva Santos, Luciana Cristina Lins de Aquino Santana, Filme biodegradável à base de quitosana e amido de resíduo agroindustrial para a conservação de fruta minimamente processada, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia (PROBIO), 2024

RESUMO:

A elaboração de filmes biodegradáveis tem sido alvo de diversos estudos a fim de substituir os polímeros convencionais de origem petroquímica, principalmente com aplicação como embalagens na indústria de alimentos. Diante do exposto, a presente pesquisa objetivou elaborar e caracterizar um filme, através de diversas formulações, composto por um *blend* de amido do caroço do fruto do abacate (*Persea americana*, Mill.) com quitosana, com e sem extrato hidroalcolólico da farinha da semente do fruto do jatobá (*Hymenaea courbaril*, L) nas concentrações de 5, 10 e 15%, como embalagem bioativa para aplicação na conservação de melão minimamente processado. Os filmes obtidos foram avaliados quanto às suas propriedades térmicas e físico-químicas de solubilidade em água, umidade, espessura, parâmetros visuais (cor e opacidade), permeabilidade ao vapor de água, atividade antioxidante (*in vitro*) e atividade antibacteriana (*in vitro*), bem como a sua biodegradabilidade. Pedacinhos de melão contendo ou não filmes selecionados foram avaliados quanto aos teores de sólidos solúveis, perda de massa, acidez titulável, pH, cor e contagens totais de bactérias aeróbias mesófilas e bolores e leveduras durante 14 dias de estocagem à 5 °C. As análises de determinação de compostos bioativos do extrato da semente de jatobá demonstraram os teores de 8.833,33 (mg EAG/100g) e 36,43 (mg QCE/100 g) para compostos fenólicos totais e flavonoides totais, respectivamente. A análise da atividade antibacteriana do extrato demonstrou os maiores halos de inibição (<10 mm) frente a *B. cereus*, *P. aeruginosa* e *E. faecalis*. As análises de caracterização realizadas demonstraram que a estabilidade térmica dos filmes foi influenciada pela adição de extrato, em que a maior resistência ao calor foi verificada nos filmes adicionados com extrato. O teor de umidade e solubilidade foram menores para o filme com extrato (8% e 33%, respectivamente) do que para o filme sem extrato (21% e 43%, respectivamente). Por outro lado, a atividade antioxidante foi maior para o filme com a mais alta concentração de extrato (taxa de inibição de 58% e 81% pelos métodos ABTS e DPPH, respectivamente) em relação ao filme sem extrato (44% e 32%, respectivamente). Também foi maior a atividade antibacteriana dos filmes com concentração aumentada de extrato frente a nove bactérias. Em relação à análise de permeabilidade ao vapor, os filmes testados não apresentaram diferenças significativas. A análise de biodegradabilidade demonstrou que os filmes com extrato exigem um maior período de biodegradação quando comparado ao filme sem adição de extrato. Em relação a vida de prateleira do melão minimamente processado, foi observado que os filmes com extrato reduziram as contagens de bactérias aeróbias mesófilas em até 2 Log UFC/g em relação ao fruto com filme sem extrato, entretanto, não influenciaram a contagem de bolores e leveduras (mantendo entre 3,0 e 4,0 Log UFC/g), os teores de sólidos solúveis (6,0-6,9 °Brix) e o pH (4-6) durante a estocagem. A acidez (0,1-0,2%) dos melões aumentou levemente durante a estocagem e a perda de peso aumentou quando o filme com extrato foi usado. Os filmes sintetizados apresentaram potencial para serem utilizados como embalagens bioativas de alimentos, particularmente na redução de crescimento bacteriano durante a estocagem de melões minimamente processados à 5°C por 14 dias.

Palavras-chaves: embalagem; extrato; resíduo de fruta; fruta.

Tháise da Silva Santos, Luciana Cristina Lins de Aquino Santana, Biodegradable film based on chitosan and agroindustrial waste starch for the preservation of minimally processed fruit, Graduate Program in Biotechnology (PROBIO), 2024

ABSTRACT:

The development of biodegradable films has been the subject of several studies in order to replace conventional polymers of petrochemical origin, especially for use as packaging in the food industry. In view of the above, this research aimed to develop and characterize a film, through various formulations, composed of a blend of starch from the pit of the avocado fruit (*Persea americana*, Mill.) with chitosan, with and without hydroalcoholic extract from the flour of the seed of the jatoba fruit (*Hymenaea courbaril*, L) at concentrations of 5, 10 and 15%, as bioactive packaging for application in the preservation of minimally processed melon. The films obtained were evaluated for their thermal and physicochemical properties of water solubility, humidity, thickness, visual parameters (color and opacity), water vapor permeability, antioxidant activity (in vitro) and antibacterial activity (in vitro), as well as their biodegradability. Melon slices containing or not containing selected films were evaluated for soluble solids content, mass loss, titratable acidity, pH, color and total counts of aerobic mesophilic bacteria and molds and yeasts during 14 days of storage at 5 °C. Analysis of the bioactive compounds in the jatoba seed extract showed contents of 8,833.33 (mg EAG/100g) and 36.43 (mg QCE/100g) for total phenolic compounds and total flavonoids, respectively. Analysis of the antibacterial activity of the extract showed the largest inhibition halos (<10 mm) against *B. cereus*, *P. aeruginosa* and *E. faecalis*. The characterization analyses carried out showed that the thermal stability of the films was influenced by the addition of the extract, in which the greatest resistance to heat was seen in the films added with the extract. The moisture content and solubility were lower for the film with extract (8% and 33%, respectively) than for the film without extract (21% and 43%, respectively). On the other hand, the antioxidant activity was higher for the film with the highest concentration of extract (inhibition rate of 58% and 81% by the ABTS and DPPH methods, respectively) compared to the film without extract (44% and 32%, respectively). The antibacterial activity of films with an increased extract concentration was also higher against nine bacteria. The vapor permeability analysis showed no significant differences between the films tested. The biodegradability analysis showed that the films with extract required a longer biodegradation period when compared to the film without added extract. The vapor permeability analysis showed no significant differences between the films tested. The biodegradability analysis showed that the films with extract required a longer biodegradation period when compared to the film without added extract. Regarding the shelf life of the minimally processed melon, it was observed that the films with extract reduced the counts of mesophilic aerobic bacteria by up to 2 Log CFU/g compared to the fruit with film without extract, however, they did not influence the count of molds and yeasts (maintaining between 3.0 and 4.0 Log CFU/g), the soluble solids content (6.0-6.9 °Brix) and the pH (4-6) during storage. The acidity (0.1-0.2%) of the melons increased slightly during storage and weight loss increased when the extract film was used. The films synthesized showed potential for use as bioactive food packaging, particularly in reducing bacterial growth during storage of minimally processed melons at 5°C for 14 days.

Keywords: packaging; extract; fruit residue; fruit.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1. Aproveitamento dos resíduos agroindustriais do fruto do abacate	17
2.2. Jatobá	19
2.3. Filmes biodegradáveis	20
2.4. Aplicação de filmes para a conservação de melão minimamente processado	23
3. OBJETIVOS	25
3.1. Geral	25
3.2. Específicos	25
4. MATERIAIS E MÉTODOS	26
4.1. Materiais	26
4.2. Cepas bacterianas	26
4.3. Obtenção do extrato hidroalcoólico da semente do fruto de jatobá	26
4.4. Quantificação dos compostos fenólicos totais e flavonoides totais	27
4.5. Atividade antibacteriana do extrato	27
4.6. Extração do amido da caroço de abacate	28
4.7. Determinação da composição centesimal do amido do caroço de abacate	29
4.7.1. Teor de Umidade	29
4.7.2. Teor de Cinzas	30
4.7.3. Teor de Lipídios	30
4.7.4. Teor de Proteínas	31
4.7.5. Teor de Carboidratos	32
4.8. Elaboração dos filmes a base de amido do caroço de abacate e quitosana	32
4.9. Análises físico-químicas dos filmes	32
4.9.1. Umidade	32
4.9.2. Solubilidade em Água	33
4.9.3. Permeabilidade do Vapor de Água (PVA)	33
4.9.4. Espessura	33
4.9.5. Cor	34
4.9.6. Opacidade	34
4.10. Análise da atividade antibacteriana dos filmes	34

4.11. Atividade antioxidante dos filmes	35
4.12. Análise Termogravimétrica (TGA) dos filmes	35
4.13. Análise térmica de Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC) dos filmes	36
4.14. Análise da biodegradabilidade dos filmes	36
4.15. Aplicação dos biofilmes na conservação de melão minimamente processado	37
4.15.1. Sólidos solúveis totais	38
4.15.2. pH	38
4.15.3. Acidez titulável	38
4.15.4. Cor	39
4.15.5. Análises microbiológicas	39
4.15.5.1. Contagem de bactérias aeróbias mesófilas	39
4.15.5.2. Contagem de bolores e leveduras	39
4.15.6. Perda de massa	40
4.16. Análise estatística	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1. Compostos bioativos do extrato da semente do fruto do jatobá	40
5.2. Atividade antibacteriana do extrato da semente do jatobá	40
5.3. Rendimento da extração e determinação da composição centesimal do amido do caroço de abacate	42
5.4. Seleção das formulações dos filmes	43
5.5. Análises físico-química dos filmes	46
5.5.1. Umidade e solubilidade em água	46
5.5.2. Permeabilidade ao vapor de água (PVA)	48
5.5.3. Espessura	48
5.5.4. Características visuais (cor e opacidade)	49
5.6. Atividade antibacteriana dos filmes	51
5.7. Atividade antioxidante dos filmes	52
5.8. Análise termogravimétrica (<i>Thermogravimetric analysis</i> - TGA) e de Calorimetria Diferencial de Varredura (<i>Diferencial Scanning Calorimetry</i> - DSC) dos filmes	54
5.9. Análise da biodegradabilidade dos filmes	57
5.10. Aplicação dos filmes na conservação de melão minimamente processado	59
5.10.1. Contagem de aeróbios mesófilos totais e de bolores e leveduras	65
6. CONCLUSÕES	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fruto do abacate e seus resíduos (epicarpo e caroço)	18
Figura 2 - Árvore do jatobá (a); frutos na árvore (b); Polpa e sementes de fruto de jatobá coletado	19
Figura 3 - Estrutura química da amilose e amilopectina no amido	22
Figura 4 - Estrutura química da quitosana	23
Figura 5 - Etapas da extração do amido do caroço do abacate	29
Figura 6 - Filmes submetidos à análise de biodegradabilidade.....	36
Figura 7 - Aplicação dos filmes em melão minimamente processado.....	38
Figura 8 - Amido extraído do caroço do abacate	42
Figura 9 - Filmes elaborados a partir de diferentes formulações de amido do caroço de abacate, quitosana e glicerol	43
Figura 10- A - Filme elaborado somente com amido do caroço do abacate; B - Filme elaborado com o <i>blend</i> de amido e quitosana	44
Figura 11 - Filmes elaborados com adição de extrato da semente de jatobá em diferentes concentrações	46
Figura 12 - Estabilidade térmica dos filmes pelo método TGA	55
Figura 13A-D - Estabilidade dos filmes pelo método DSC	56
Figura 14 - Aspecto dos filmes durante o processo de biodegradação.....	58
Figura 15 - Teor de Sólidos Solúveis Totais (° Brix) dos melões minimamente processados com e sem filmes durante 14 dias de armazenamento à 5 °C	60
Figura 16 - pH dos melões minimamente processados com e sem filmes durante 14 dias de armazenamento à 5 °C.	61
Figura 17 - Acidez (%) dos melões minimamente processados com e sem filmes durante 14 dias de armazenamento à 5 °C	62
Figura 18- Cor dos melões minimamente processados com e sem filmes durante 14 dias de armazenamento à 5 °C.....	62
Figura 19 - Perda de massa (%) dos melões minimamente processados com e sem filmes durante 14 dias de armazenamento à 5 °C	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atividade antibacteriana do extrato da semente de jatobá.....	41
Tabela 2 - Composição centesimal do amido	43
Tabela 3 - Taxa de umidade (%) e de solubilidade (%) dos biopolímeros produzidos	47
Tabela 4 - Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA) dos filmes	48
Tabela 5 - Espessura dos filmes	49
Tabela 6 - Características visuais (cor e opacidade)	50
Tabela 7 - Taxa de inibição (%) bacteriana dos filmes	51
Tabela 8 - Atividade antioxidante dos filmes pelos métodos ABTS e DPPH	53
Tabela 9 - Atividade antioxidante dos filmes pelo método FRAP	53
Tabela 10 - Contagem de aeróbios mesófilos e bolores e leveduras do melão minimamente processado durante armazenamento expressa em UFC/g	66

ABREVIATURAS E SIGLAS

ABTS - (2,2'- azino-bis(3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulfonic acid)	26
BHI - <i>Brain Heart Infusion</i>	26
DPPH - (2,2-difenil-1-picrilhidrazil)	26
DSC - Calorimetria Diferencial de Varredura	36
FRAP - (<i>Ferric Reducing Antioxidant Power</i>)	26
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	15
INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial	22
MP - Minimamente processado	24
ODS - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável	15
PHB - Polihidroxitirato	21
PLA - Polilactídeo	21
PVA - Poliálcool vinílico	21
PVA - Permeabilidade ao Vapor de Água	33
SST - Sólidos Solúveis Totais	60
TGA - Termogravimetria	35
UFC - Unidades Formadoras de Colônias	28
WIPO - <i>World Intellectual Property Organization</i>	15

1. INTRODUÇÃO

Visando minimizar os prejuízos ecológicos da utilização dos polímeros de fontes petroquímicas, nos últimos anos tem sido crescente a busca por novas alternativas que possam substituir os polímeros convencionais em suas mais variadas aplicações. Neste sentido, nota-se a utilização de rejeitos provenientes do processamento de alimentos como matéria-prima na obtenção de polímeros naturais como celulose, amido e quitina (Pinku *et al.*, 2024) para a síntese de biopolímeros utilizados nos diversos campos da indústria, principalmente a alimentícia.

O setor agroindustrial é atualmente um dos mais importantes na geração de resíduos, cujo descarte ocasiona vários problemas ambientais. Esse cenário motivou um interesse crescente na busca por soluções que não apenas minimizem o descarte de resíduos agroindustriais, mas que deem uma nova aplicação a eles (Greses *et al.*, 2020). Neste contexto, podem ser citados os resíduos oriundos do processamento do abacate (*Persea americana*, Mill.) como as cascas e caroços (Bhuyan *et al.*, 2019), os quais foram alvo de alguns estudos que objetivaram analisar as potencialidades do caroço do abacate como fonte de celulose para a síntese de filmes biodegradáveis de celulose e gelatina (Amelia *et al.*, 2024) e para o encapsulamento de óleo essencial de gengibre (Pires *et al.*, 2024), contudo, nas bases patentárias e científicas consultadas, não foram encontradas patentes ou artigos científicos sobre bioplásticos produzidos mediante o *blend* de quitosana e amido do caroço de abacate, fato que evidencia o potencial inovador desta pesquisa de Dissertação. Diante desse cenário, o uso de polímeros naturais derivados de resíduos agroindustriais, como amido e quitosana, tem ganhado destaque como uma alternativa sustentável para a elaboração de embalagens biodegradáveis, capazes de aumentar a vida útil de frutas frescas, como o melão minimamente processado.

Levando-se em consideração ainda a necessidade crescente em reduzir a utilização de plásticos originados de petróleo, o potencial de aplicação industrial dos biopolímeros, principalmente na área de alimentos, o baixo custo de produção destes materiais e a escassez de pesquisas anteriores acerca da aplicação de filmes para a conservação de melão minimamente processado, objetivou-se neste estudo elaborar e caracterizar um filme produzido a partir do amido do caroço de abacate e quitosana com incorporação de extrato de sementes do fruto do jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) para aplicação na conservação de melão minimamente processado. Do ponto de vista social e ambiental, a pesquisa justifica-se ainda por estar atrelada a cinco dos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, promovendo a sustentabilidade na produção e conservação de alimentos, ao mesmo tempo que oferece alternativas inovadoras para a substituição de plásticos convencionais.

A utilização do extrato de sementes de jatobá foi baseada em estudos prévios do nosso

grupo de pesquisa (Scaramussa *et al.*, 2022), onde foi demonstrado o potencial antimicrobiano e antioxidante de extratos da semente de jatobá. A escolha do melão minimamente processado, foi baseada no aumento da comercialização e consumo desse tipo de alimento, o qual possui alta taxa de perecibilidade devido às suas características, o que exige estratégias para o aumento da vida de prateleira e para diminuir a suscetibilidade deste produto à rápida deterioração físico-química e microbiológica, bem como a escassez de estudos que objetivaram aumentar a sua vida útil.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Aproveitamento dos resíduos agroindustriais do fruto do abacate

O crescente desenvolvimento populacional tem ocasionado o aumento da busca por serviços e produtos que atendam às necessidades de subsistência. Neste sentido, as atividades agrícolas como agricultura, pecuária e agroindústria se desenvolvem de forma acelerada para atender a todas as demandas e, conseqüentemente, há o aumento proporcional do volume de resíduos gerados (Cremonez *et al.*, 2021).

Atualmente, a agroindústria é um dos setores que mais produz resíduos, o que acarreta em um grande impacto ambiental e elevados custos com a gestão desses dejetos. Desta forma, a fim de contribuir com o desenvolvimento sustentável e promover a economia circular, pesquisas se dedicam à busca por alternativas que reduzam o descarte de resíduos agroindustriais através da utilização destes como matéria-prima para a obtenção de novos produtos com alto valor agregado (Greses *et al.*, 2020; Ranganathan *et al.*, 2020; Koul *et al.*, 2021).

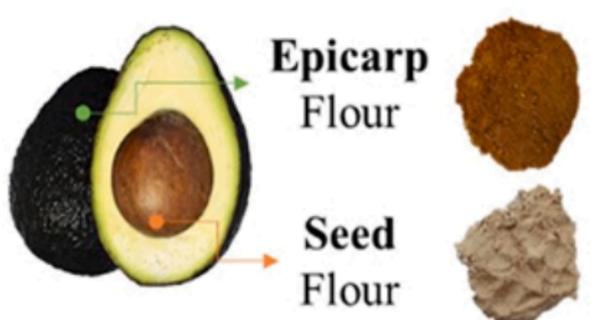
Anualmente, milhões de toneladas de resíduos agroindustriais são descartados, principalmente oriundos do processamento de frutas e o Brasil é um dos três maiores produtores desses resíduos. Salienta-se que embora uma boa parcela dessa matéria residual seja frequentemente ignorada, diversos estudos mostram que estes descartes vegetais se apresentam como excelentes fontes de compostos bioativos (Melgar *et al.*, 2018; Sharma *et al.*, 2022).

Os compostos bioativos são substâncias capazes de desencadear respostas fisiológicas em organismos vivos, a depender de suas características como dose, composição química e biodisponibilidade. Nos resíduos agroindustriais de origem vegetal, os compostos bioativos podem ser encontrados em diversas fontes como sementes, folhas, cascas e caules (Lopez *et al.*, 2020).

O abacate (*Persea americana* Mill.) é um fruto pertencente à família das lauráceas sendo uma espécie originária da América Central, principalmente do México, mas que também pode ser encontrado em diversos outros países de clima tropical e subtropical (Athaydes *et al.*, 2022). De acordo com dados coletados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2022, o Brasil produziu cerca de 338.238 toneladas, estando naquele ano o estado de São Paulo posicionado como o responsável pela maior produção interna do fruto (146.377 toneladas). Em relação ao Nordeste, a região produziu aproximadamente 27.840 toneladas, dos quais os maiores produtores foram o Ceará (23.183 toneladas), a Bahia (2.544 toneladas) e Alagoas (906 toneladas). Cabe salientar ainda que não foram encontradas informações disponibilizadas pelo Instituto quanto às produções dos estados do Maranhão, Piauí e Sergipe (IBGE, 2022).

O abacate é amplamente apreciado pelas indústrias alimentícias, cosmética e farmacêutica devido à sua composição química e nutricional e estudos recentes enfatizam toda a potencialidade dos seus compostos como sua ação hipoglicemiante, anti inflamatória, antioxidante, cardioprotetora, antimicrobiana e antitumoral, entre outras (Ochoa-Zarzosa *et al.*, 2021), entretanto, as cascas e caroços (Figura 1) ainda são pouco exploradas pela indústria, mesmo que possuam potencial para aplicação em bioenergia e na síntese de biocombustíveis e biopolímeros (Bhuyan *et al.*, 2019; Sandí *et al.*, 2021).

Figura 1 - Fruto do abacate e seus resíduos (epicarp e caroço)



Fonte: Grisales-Mejía *et al.* (2023).

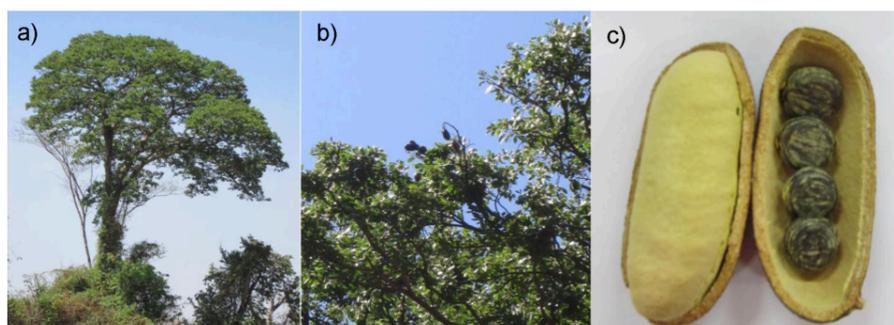
O caroço do abacate pode representar até cerca de 20% do fruto e é rica tanto em componentes funcionais como lipídios, proteínas e polissacarídeos como pectina, celulose e amido (Merino *et al.*, 2021), bem como componentes bioativos de interesse como compostos fenólicos, flavonoides e taninos (Bangar *et al.*, 2022). Na literatura, é possível encontrar diversos trabalhos realizados nos últimos anos que se propuseram a examinar a bioatividade deste resíduo como os estudos de Shi *et al.* (2021), Soledad *et al.* (2021) e Hernandez-Martinez *et al.* (2022) comprovando as atividades antioxidante, antibacteriana e antifúngica, respectivamente.

No que diz respeito à utilização do caroço do abacate como fonte alternativa para obtenção de amido, um dos objetivos desta pesquisa, Wang *et al.* (2022), Salazar-Irrazabal *et al.* (2023), Jiménez *et al.* (2021), Tesfaye *et al.* (2018), Martins *et al.* (2022), De Dios-Ávila *et al.* (2022) e Macena *et al.* (2020) demonstraram o elevado teor deste constituinte presente no caroço, bem como a viabilidade da extração de amido tanto por técnicas convencionais quanto não-convencionais de extração, obtendo valores entre 10,67% e 39,57% de rendimento. Também Merino *et al.* (2021), Ramesh *et al.* (2021) e Alemu *et al.* (2022), demonstraram o potencial de utilização do amido extraído deste resíduo para a elaboração de filmes e revestimentos comestíveis, o que justifica a sua aplicação neste estudo para essa finalidade.

2.2 Jatobá

O *Hymenaea courbaril* L. (Figura 2), conhecido popularmente como jatobá, é uma espécie botânica pertencente à família Fabaceae que pode ser encontrada tanto em países da América Central quanto da Latina, sendo utilizada para alimentação humana e animal, além de ser aplicada para fins medicinais, principalmente no tratamento de gripes e anemias (Anaya-Gil *et al.*, 2022), e depurativos devido à sua ação antibacteriana (Silva-Silva *et al.*, 2023).

Figura 2 - (a) Árvore do jatobá; (b) frutos na árvore; (c) Polpa e sementes de fruto de jatobá coletado



Fonte: Dias *et al.* (2013).

No Brasil, esta planta nativa constitui a flora dos biomas do Cerrado e da Caatinga, fazendo parte das espécies botânicas encontradas nos estados do Piauí, Goiás, Bahia, Mato Grosso do Sul, Bahia e Minas Gerais (Olivieri *et al.*, 2024) e seus frutos são caracterizados externamente por bainhas grandes de coloração marrom e aspecto amadeirado. No interior dos frutos, encontra-se a polpa amarelada de textura farinhenta e odor característico, parte mais apreciada do fruto, além das sementes (Dias *et al.*, 2013). Botanicamente, a árvore do jatobá pode atingir de 8m a 20m de altura, sendo caracterizada por troncos retos de forma cilíndrica, lisos e acinzentados (Silva-Silva *et al.*, 2023). Quanto às suas propriedades, diversos estudos realizados como o de Da Cruz *et al.* (2023) evidenciaram a ação bioativa dos compostos fitoquímicos, como oligossacarídeos, terpenos, compostos fenólicos e flavonoides, presentes nas diversas partes vegetais (Anaya-Gil *et al.*, 2022).

Os altos teores de compostos fenólicos encontrados em extratos da planta do jatobá estão relacionados à presença das procianidinas, taninos condensados que compõem uma subclasse dos flavonoides, que possuem diversas propriedades benéficas incluindo ação antimicrobiana, antifúngica, antioxidante, antiinflamatória, antidiarreicas, cicatrizantes e anticarcinogênicas, além de exercerem efeitos protetores contra doenças renais e hepáticas (Vardanega *et al.*, 2024).

Nos últimos anos, está havendo o aumento do interesse de pesquisadores em explorar as propriedades do jatobá, entretanto, a maioria desses estudos está concentrada em analisar o potencial das folhas e polpa, tornando os trabalhos com enfoque em seus resíduos, como as cascas e sementes, algo ainda escasso, principalmente em relação a utilização desses resíduos como fontes de bioativos. Neste contexto, pode ser destacado o trabalho de Scaramussa *et al.* (2022) que se propuseram a determinar os teores fenólicos tanto da casca quanto da semente e sua ação antibacteriana, apresentando estes resíduos como sendo ricos em fitoquímicos com capacidade antioxidante. Já o estudo realizado por Alves-Silva *et al.* (2022) evidenciou a utilização da polpa jatobá para a síntese de filmes para aplicação em alimentos como embalagens bioativas.

Devido às suas propriedades, os bioativos vegetais vêm sendo incorporados como aditivos naturais nas formulações de filmes biodegradáveis e revestimentos comestíveis com capacidade de melhorar as características físicas desses produtos, além de fornecer propriedades antimicrobianas e antioxidantes (Capar, 2023; Ma *et al.*, 2024).

2.3 Filmes biodegradáveis

Na contemporaneidade, várias atividades dependem quase que exclusivamente de produtos poliméricos devido à sua versatilidade e produção financeiramente acessível. No entanto, a preocupação ambiental tem crescido devido à origem majoritariamente fóssil, não renovável e altamente poluente de grande parte desses polímeros (Udayakumar *et al.*, 2021). Diante desse cenário, com o objetivo de mitigar os danos ambientais causados pelos polímeros derivados do petróleo, frentes de pesquisas biotecnológicas têm explorado alternativas mais sustentáveis para a substituição destes polímeros (Mtibe *et al.*, 2021).

A busca por novos materiais que possam substituir as embalagens plásticas convencionais está presente em diversos setores industriais, principalmente na indústria alimentícia, que têm se preocupado com o meio ambiente, e busca aumentar a vida de prateleira dos alimentos (Zhao *et al.*, 2023).

Os filmes biodegradáveis ou bioplásticos são polímeros com capacidade de biodegradação relativamente mais elevada e rápida quando comparados aos polímeros convencionais produzidos a partir de fontes petroquímicas (Zoungran *et al.*, 2020). Um material é tido como biodegradável se este for capaz de ser degradado pelos microrganismos como fungos, algas e bactérias presentes naturalmente no meio ambiente, principalmente no solo, e por isto tem-se aumentado a busca por produtos de fácil biodegradação como alternativa para a redução da utilização de materiais oriundos de combustíveis fósseis, não renováveis e altamente poluentes (Kim *et al.*, 2021).

Os polímeros de natureza biodegradável podem ser classificados em três grupos distintos, de acordo com a sua origem e método utilizado na sua síntese: biopolímeros naturais (amido, pectina, gelatina, quitosana); polímeros biodegradáveis sintéticos (polilactídeo ou PLA, poliálcool vinílico ou PVA); e polímeros provenientes da fermentação de microrganismos como o pululano e o polihidroxibutirato ou PHB (Zhang *et al.*, 2023).

De acordo com informações coletadas da European bioplastics (2022), a previsão é que a produção global de bioplásticos chegue a 6,30 mil toneladas em 2027. Este crescimento da indústria de bioplásticos está concentrado principalmente no continente asiático, que detém aproximadamente 41% da capacidade de produção, enquanto na América do Sul, a participação na capacidade de produção mundial é de 12,6%.

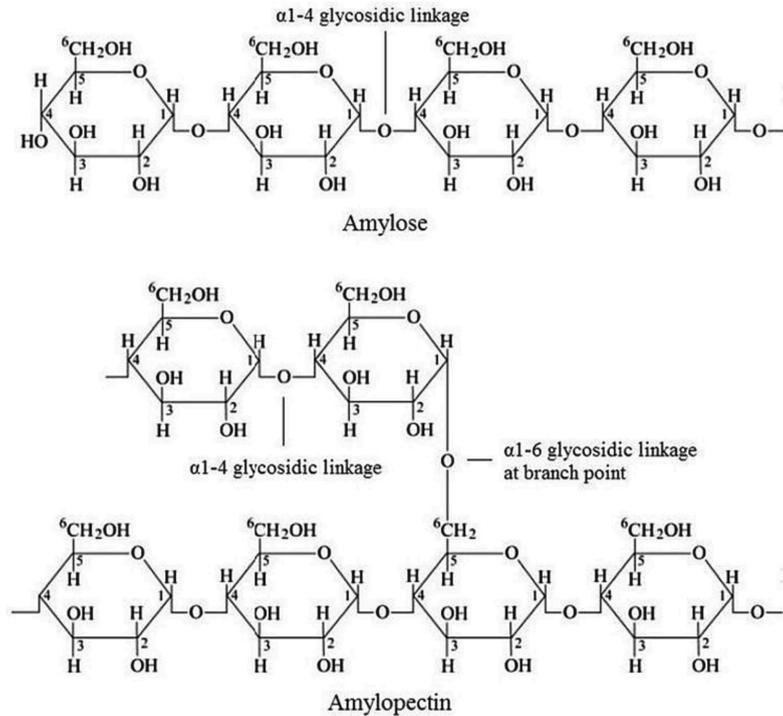
Filmes elaborados sinteticamente a partir de fontes biológicas exigem geralmente baixo custo de produção e permitem uma gama de possibilidades de uso. Neste contexto, tem-se observado nos últimos anos a viabilidade da utilização desses produtos pela indústria alimentícia em substituição às embalagens plásticas convencionais (Shaikh *et al.*, 2021). Além de serem aplicados em substituição das embalagens plásticas tradicionais, os filmes biodegradáveis também podem ser utilizados como cobertura alimentícia, comestível ou não, uma espécie de película capaz de manter as características organolépticas, por um maior período de tempo, dos alimentos submetidos a ela (Yaashikaa *et al.*, 2023).

A síntese de um bioplástico exige que um ou mais elementos da sua composição sejam capazes de formar uma matriz polimérica contínua (Gontard; Guilbert, 1996). Neste sentido, estudos mostram a frequente utilização de polissacarídeos como amido e quitosana, além de proteínas como o colágeno para a obtenção de biopolímeros (Anand; Kumar, 2021).

O amido é um dos polissacarídeos mais abundantes na natureza, atrás apenas da celulose, e é utilizado como reserva energética pelas plantas. Devido ao fato de ser um material renovável e às suas características como baixa toxicidade, biodisponibilidade e elevada biodegradação (Arooj *et al.*, 2024), diversos autores vêm demonstrando que a utilização de amido na síntese de polímeros ecológicos pode ser promissora, entretanto, filmes de amido apresentam algumas desvantagens como baixa resistência mecânica, fragilidade e elevada solubilidade em água devido ao grande número de grupos hidroxilas hidrofílicos presentes na estrutura química do amido (Thakur *et al.*, 2019).

Os grânulos de amido são formados por dois polímeros, a amilose composta por monômeros de glicose ligados por ligações helicoidais e a amilopectina, uma macromolécula altamente ramificada (Othman *et al.*, 2024), conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 - Estrutura química da amilose e amilopectina no amido

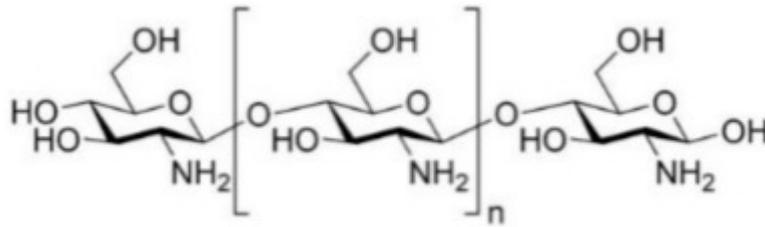


Fonte: Othman *et al.*, 2024).

A origem biológica do amido exerce influência tanto no tamanho do grânulo quanto na relação amilose/pectina, fatores que afetam a qualidade e as características finais dos biopolímeros de amido (Datta; Halder, 2019). Neste sentido, com a finalidade de superar as limitações tecnológicas dos biopolímeros sintetizados a partir da utilização exclusiva de amido, tem-se observado a adição de polímeros secundários como a quitosana para melhorar suas propriedades físico-químicas (Arooj *et al.*, 2024).

A quitosana é um polissacarídeo hidrofobicamente catiônico obtido a partir da desacetilação parcial da quitina, o principal constituinte do exoesqueleto dos crustáceos e artrópodes e por isso, de forma semelhante ao amido, está distribuída largamente no mundo (Hong *et al.*, 2023). Mediante às suas propriedades, como a antimicrobiana e antioxidante, e disponibilidade, a quitosana vem sendo utilizada em diversos estudos ao longo dos anos, sobretudo na elaboração de filmes (Mouhoub *et al.*, 2024; Atlar *et al.*, 2023). A estrutura química da quitosana é mostrada na Figura 4.

Figura 4 - Estrutura química da quitosana



Fonte: Wang *et al.* (2024).

A quitosana possui propriedades que permitem a formação de filme e isto está intimamente relacionado à sua estrutura química, na qual encontra-se um número significativo de grupos hidroxilas e aminas, os quais podem criar ligações de hidrogênio com moléculas de água permitindo assim a formação de colóides em meio aquoso (Wang *et al.*, 2024).

Embora os filmes e revestimentos produzidos a partir de quitosana sejam considerados potencialmente úteis como material de embalagem nas áreas de preservação de alimentos e embalagens ativas, estes biopolímeros possuem algumas limitações quando feitos exclusivamente de quitosana como altas taxas de absorção de água e permeabilidade ao vapor (Cabrera-Barjas *et al.*, 2024).

A partir de pesquisas realizadas no *Google Patents*, *World Intellectual Property Organization* (WIPO), *Japan Patent Office*, *Espacenet* e no site oficial do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), constatou-se que já há patentes de filmes biodegradáveis e revestimentos comestíveis feitos de quitosana, bem como bioplásticos sintetizados a partir de amido. Dentre elas, foi encontrado o depósito de uma patente de invenção de um revestimento comestível utilizado para conservar frutas produzidas com a fração amilácea extraída do caroço de abacate no acervo do INPI, sob o número de registro BR 10 2014 027807 9. No entanto, é importante observar que, até o momento do levantamento desta revisão, não havia publicações nas bases de dados consultadas que relataram a existência de bioplásticos feitos com a mistura de quitosana e amido, fato que evidencia a natureza inovadora desta pesquisa de Dissertação.

2.4 Aplicação de filmes para a conservação de melão minimamente processado

O melão (*Cucumis melo* L.), pertencente à família das cucurbitáceas, é uma fruta originária do Oriente Médio bastante apreciada devido ao seu aroma e sabor adocicados (Bhatt *et al.*, 2024). O melão é consumido no Brasil e de acordo com o IBGE, em 2022, o país produziu aproximadamente 699.281 toneladas do produto, sendo o estado do Rio Grande do Norte o principal responsável por esse volume (442.107 toneladas), todavia, o seu consumo pode ser

limitado por alguns fatores como, por exemplo, a necessidade do seu descascamento. Assim, a fim de minimizar este inconveniente, tem-se observado o aumento da comercialização de melão minimamente processado, mas ainda há poucos achados acerca de estudos realizados utilizando-o como objeto de pesquisa.

Os minimamente processados (MP) são alimentos, geralmente frutas e outros vegetais, que mesmo sendo submetidos a algum tipo de beneficiamento, são considerados frescos e suas características *in natura* preservadas, mas que apresentam uma durabilidade reduzida devido à maior exposição dos tecidos vegetais a fatores externos deteriorantes (Teixeira *et al.*, 2022) como alterações físico-químicas incluindo a perda de textura, o escurecimento e desenvolvimento de bolores. Desta forma, com o intuito de aumentar a vida útil dos MP, faz-se necessária a utilização de algumas estratégias como a refrigeração e embalagens especiais capazes de retardar a deterioração desses alimentos, principalmente por processos oxidativos e ação microbiológica.

Na literatura consultada, observou-se que ainda não é possível encontrar um número significativo de trabalhos que apresentam a caracterização e aplicação de filmes biodegradáveis como embalagem ativa com o objetivo de conservar especialmente frutas minimamente processadas, principalmente o melão, fruta alvo desta pesquisa, pois os estudos se concentram em averiguar os efeitos dos biopoliméricos frente à oxidação lipídica de produtos de origem animal (Khan *et al.*, 2021). De forma semelhante, também há poucos relatos sobre filmes incorporados com extratos de resíduos de frutas.

Raybaud-Massilia *et al.* (2008) avaliaram a ação de um revestimento à base de alginato e incorporado com óleos essenciais de palmarosa, canela e capim-limão e conseguiram aumentar a vida de prateleira do melão minimamente processado do ponto de vista microbiológico e físico-químico em 9 e <14 dias, respectivamente. De forma semelhante, Teixeira *et al.* (2022) analisaram os efeitos de coberturas à base de quitosana contendo óleo essencial de girassol e constataram o aumento da vida de prateleira e redução da contagem de bactérias mesófilas aeróbias de melões revestidos.

3. OBJETIVOS

3.1. Geral

Elaborar e caracterizar filmes produzidos a partir do amido do caroço de abacate da variedade “*Margarida*” e quitosana com incorporação de extrato da semente do fruto de jatobá para a conservação de melão minimamente processado.

3.2. Específicos

- Obter o extrato hidroalcoólico da semente do jatobá;
- Determinar os compostos fenólicos do extrato da semente de jatobá, bem como avaliar a sua ação antibacteriana e antioxidante;
- Extrair o amido do caroço do abacate da variedade “*Margarida*”;
- Determinar a composição centesimal do amido obtido;
- Elaborar diferentes formulações de filmes contendo amido, quitosana e extrato;
- Caracterizar os filmes quanto às propriedades físico-químicas, antioxidante e antibacteriana;
- Selecionar formulações de biopolímeros para aplicar na conservação de melão minimamente processado;
- Aplicar diferentes filmes como embalagem primária de melão minimamente processado.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

Melões amarelos maduros e abacates maduros de textura firme, da variedade “*Margarida*”, sem injúrias mecânicas foram adquiridos em estabelecimento comercial no município de São Cristóvão (Sergipe, Brasil). Solo vegetal da marca Mogifertil® (Mogi das Cruzes, São Paulo, Brasil) composto por turfa, serragem de madeira e bagaço de cana foi adquirido em estabelecimento agrícola na cidade de Aracaju (Sergipe, Brasil). Frutos do jatobá foram adquiridos no município de Campo Verde - MT. Todos os reagentes utilizados nas análises desta pesquisa foram de grau analítico: Álcool Etilico 99,8% P.A (Neon, Brasil), Álcool Metílico P.A ACS (Vetec, Brasil), Ágar Mueller Hinton (Kasvi, Espanha), Caldo Brain Heart Infusion (BHI) (Kasvi, Itália), Carbonato de sódio P.A (ACS, Washington, DC), Glicerina, Sulfato de sódio, Clorofórmio PA, Persulfato de potássio, Ácido acético, Ácido sulfúrico, Ácido bórico, Ácido clorídrico, Cloreto de Alumínio P.A e Cloreto férrico III (Dinâmica, Brasil), Folin Ciocalteau (Perfyl Tech, São Paulo, Brasil), Trolox, FRAP, Hidróxido de sódio, DPPH, ABTS (Sigma-Aldrich, MO, EUA), Ácido gálico e Quercetina (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO), Sulfato de cobre, Dióxido de titânio, Sulfato de potássio e Metabissulfito de sódio (Neon, São Paulo, Brasil). Além disso, também foi utilizada quitosana adquirida da empresa Polymar (Fortaleza, Ceará, Brasil) com 82,89% de desacetilação.

4.2. Cepas bacterianas

Cepas de *Bacillus subtilis* (CBAM 0441), *Enterococcus faecalis* (INCQS 00531), *Bacillus cereus* (CBAM 0353), *Pseudomonas aeruginosa* (CBAM 0679), *Escherichia coli* (CBAM 0002), *Serratia marcescens* (CBAM 0519), *Salmonella typhimurium* (CBAM 0018), *Staphylococcus aureus* (CBAM 0629) e *Salmonella enteritidis* (INCQS 00258) adquiridas na Fundação Oswaldo Cruz (Manaus e Rio de Janeiro, Brasil) foram utilizadas para analisar o potencial antibacteriano do extrato da semente do jatobá, bem como o dos filmes elaborados.

4.3. Obtenção do extrato hidroalcoólico da semente do fruto de jatobá

Frutos maduros de jatobá foram coletados do município de Campo Verde - MT, os quais tiveram sua polpa, casca e semente separadas. As sementes foram trituradas em liquidificador industrial Skymesen® até obtenção de uma farinha. O extrato foi obtido misturando-se solução

aquosa de etanol a 80% com a farinha na proporção 1:5 (farinha:solvente), sendo em seguida mantido sob agitação em agitador do tipo Shaker (modelo TE-420, Tecnal, Brasil) a 200 rpm e temperatura de 30 °C por 60 minutos (Scaramussa *et al.*, 2022). O extrato foi filtrado em papel filtro qualitativo e a fração líquida foi analisada quanto aos teores de fenólicos totais e flavonoides totais.

4.4. Quantificação dos compostos fenólicos totais e flavonoides totais

A quantificação dos compostos fenólicos totais a fim de verificar a presença de bioativos de interesse foi realizada baseando-se na metodologia executada por Shetty *et al.* (1995), de Folin-Ciocalteu. Em tubos de ensaio, foram transferidos 0,5 mL do extrato diluído seguido da adição de 0,5 mL de etanol P.A. a 95%, 2,5 mL de água destilada, 0,25 mL de solução de Folin e 0,5 mL de carbonato de sódio a 5%. Após homogeneização em vórtex, as amostras em triplicata foram mantidas em repouso 60 minutos no escuro. Para o branco, o extrato foi substituído pelo solvente.

As amostras tiveram suas absorbâncias lidas à 725 nm em espectrofotômetro 6705 UV/Vis - Jenway® e para a determinação do teor de compostos fenólicos totais, uma curva de calibração foi construída a partir de concentrações de ácido gálico (0-100 mg/L) (equação: $y = 0,0039x + 0,0045$) para que as absorbâncias fossem convertidas e expressas em miligramas de equivalente em ácido gálico (EAG) por 100 g do resíduo (mg EAG/100g).

A quantificação dos flavonoides totais foi executada a partir de uma curva padrão de quercetina (0-20 mg/L) (equação: $y = 0,0312x + 0,1033$). Para análise de flavonoides totais foram transferidos 2 mL do extrato diluído e 2 mL de cloreto de alumínio a 2% em tubos de ensaio (triplicata). Após homogeneização em vórtex, as amostras ficaram em repouso no escuro por 30 minutos (Boroski *et al.*, 2015, com modificações). Para o branco, o extrato foi substituído pelo solvente extrator e em seguida, as amostras tiveram suas absorbâncias lidas em espectrofotômetro 6705 UV/Vis - Jenway® com comprimento de onda de 415 nm. Os resultados foram expressos em miligramas de quercetina (QCE) por 100 g do resíduo (mg QCE/100g).

4.5. Atividade antibacteriana do extrato

A atividade antibacteriana do extrato da semente do jatobá frente às nove cepas testadas foi avaliada através da técnica de disco-difusão, em triplicata, segundo a metodologia descrita pelos

Padrões Clínicos e Laboratoriais (CLSI, 2015). Placas de Petri contendo ágar Mueller-Hinton (MH) solidificado foram inoculadas com suspensões bacterianas em solução salina a 0,9% na concentração de $1,5 \times 10^8$ UFC/mL (0,5 na escala de Mcfarland) e em seguida, foram dispostos discos de papel de 6 mm estéreis contendo 10 μ l do extrato. O solvente extrator foi utilizado como “controle negativo” e antibióticos comerciais Gentamicina (10 μ g) e Cloranfenicol (30 μ g) foram utilizados como “controle positivo”. As placas foram incubadas a 35 °C por 24h e os diâmetros dos halos de inibição foram mensurados.

A sensibilidade das bactérias ao extrato foi definida segundo Ponce *et al.* (2003), no qual diâmetro <8 mm foram classificados como “não sensível”; diâmetro entre 9,0 e 14,0 mm, como “sensível”; diâmetro entre 15,0 e 19,0 mm, “muito sensível”; e diâmetro >20 mm como “extremamente sensível”.

4.6. Extração do amido do caroço de abacate

O amido do caroço de abacate da variedade “*Margarida*” foi obtido a partir de frutos maduros adquiridos em casa comercial no município de São Cristóvão - Sergipe, os quais tiveram suas polpas separadas dos caroços e estas foram sanitizadas em solução de hipoclorito de sódio a 200 mg/L por 15 minutos. As sementes foram cortadas em cubos de aproximadamente 1 cm² e mantidas sob refrigeração em infusão de metabissulfito de sódio e água destilada a 0,03% por 72 h. Para extrair a porção amilácea, os caroços hidratados foram triturados com solução de metabissulfito de sódio a 0,03% em liquidificador industrial da marca Skymesen® por 15 minutos. Posteriormente, a mistura foi peneirada e a fração líquida foi submetida a cinco decantações, cada uma por 24 h, sendo a solução formada filtrada em uma malha de *voil* para a retirada da mucilagem formada no interior do amido e ressuspensa em nova solução de metabissulfito. Após o período de decantação, o amido foi lavado três vezes com água destilada refrigerada, espalhado em placas de Petri e seco em estufa de secagem a 50 °C por 24 h. O amido seco foi triturado em almofariz e pistilo, peneirado e mantido em pote hermético sob refrigeração até a sua utilização (Loos, Hood e Graham, 1981, com modificações). As etapas de extração estão apresentadas na Figura 5.

Após a extração do amido do caroço do abacate, seu rendimento foi calculado através da seguinte fórmula:

$$\text{Rendimento (\%)} = [\text{Massa de amido obtida (g)} / \text{Peso inicial dos caroços (g)}] \times 100$$

Figura 5 - Etapas da extração do amido do caroço do abacate



1 - Sanitização dos caroços de abacate; 2- Retirada do revestimento interno e corte; 3 - Início do processo de decantação; 4 - Final do processo de decantação e lavagem; 5 - Amido úmido para secagem; 6 - Amido após secagem, triturado e peneirado para armazenamento.

Fonte: a autora (2024).

4.7. Determinação da composição centesimal do amido do caroço de abacate

A composição centesimal do amido do caroço de abacate foi determinada a partir dos métodos analíticos para análises físico-químicas de alimentos, elaborados pelo Instituto Adolfo Lutz (2008).

4.7.1. Teor de umidade

Para a determinação do teor de umidade, 2 g de amido (em triplicata) foram pesados em cápsulas de porcelana previamente aquecidas, resfriadas e pesadas e foram submetidos à secagem em estufa a 105 °C por 24 h, sendo pesados até o seu peso constante. O cálculo do teor de umidade da amostra se deu a partir da seguinte fórmula:

$$\text{Teor de umidade (\%)}: [N / P] \times 100$$

Onde:

N = Número de g de umidade da amostra (perda de massa da amostra durante a secagem);

P = Número de g da amostra antes da secagem.

4.7.2. Teor de cinzas

Para a determinação do teor de cinzas, 2 g de amido (em triplicata) foram colocados em cápsulas de porcelana previamente aquecidas, resfriadas e pesadas e as amostras foram aquecidas em chapa elétrica até a sua carbonização. Posteriormente, as cápsulas foram levadas ao forno do tipo mufla a 550 °C por 6 h. Após resfriadas, as amostras foram pesadas e o teor de cinzas foi calculado a partir da seguinte fórmula:

$$\text{Teor de cinzas (\%)}: [N \times 100] / P$$

Onde:

N = Número de g de cinzas;

P = Número de g da amostra.

4.7.3. Teor de lipídios

A fração lipídica total do amido foi determinada a partir de adaptações realizadas na metodologia desenvolvida por Bligh e Dyer (1959). Em triplicata, 2 g de amido foram dissolvidos em solução contendo clorofórmio, metanol e água nas quantidades de 8 mL, 16 mL e 1 mL (respectivamente). A solução foi agitada em agitador orbital em temperatura ambiente por 30 minutos. Em seguida, foram adicionados mais 8 mL de clorofórmio e 8 mL de solução de sulfato de sódio a 1,5% e esta foi homogeneizada por 2 minutos. Posteriormente, as amostras foram deixadas em repouso para decantação da fração apolar que em seguida foi coletada com o auxílio de uma pipeta de *Pasteur*. Foi adicionado aproximadamente 1 g de sulfato de sódio anidro para retirada das impurezas que porventura estivessem na amostra coletada, filtrou-se com papel filtro e 4 mL das amostras foram levadas à estufa até evaporação total do solvente, em cápsulas de porcelana previamente pesadas, a 60 °C. O teor de lipídios da amostra foi calculado por meio da seguinte equação:

$$\text{Teor de lipídios (\%)} = [P \times 100] / G$$

Onde:

P = Massa de lipídios (g) da amostra;

G = Massa (g) da amostra.

4.7.4. Teor de proteínas

Para a determinação das proteínas, foi considerado o teor de nitrogênio total da amostra obtido a partir de modificações realizadas no método convencional de Kjeldahl. Em triplicata, 1 g de amido foi pesado e embrulhado em papel de seda, sendo colocado em um frasco de Kjeldahl seguida da adição de 25 mL de ácido sulfúrico e 5 g de mistura digestora elaborada com dióxido de titânio anidro, sulfato de cobre anidro e sulfato de potássio anidro, na proporção 0,3:0,3:6. A amostra foi digerida sob aquecimento em bloco digestor, com aumento gradual da temperatura (aumento de 50 °C a cada 30 minutos) até atingir 400 °C, mantendo-se por 60 minutos.

Com a amostra já resfriada, esta foi transferida ao frasco do destilador com adição de 20 mL de água. Em um erlenmeyer acoplado ao destilador, foi colocado 10 mL de solução de ácido bórico a 2% e 5 gotas de indicador misto. No copo dosador do destilador, foram adicionados 15 mL de solução de hidróxido de sódio a 50% e o sistema foi ligado até o erlenmeyer marcar 75 mL de solução. A amostra foi titulada com ácido clorídrico concentrado até obter cor vermelha.

Para determinar o teor de proteínas do amido, foi utilizada a seguinte equação:

$$\text{Teor de proteínas totais (\%)} = [V \times 0,14 \times f] / P$$

Onde:

V = nº de mL de ácido clorídrico gastos na titulação;

P = nº de g da amostra;

f = fator de conversão (6,25).

4.7.5. Teor de carboidratos

O teor de carboidratos foi determinado pela diferença da soma dos teores de água (umidade), cinzas, lipídeos e proteínas.

4.8. Elaboração de filmes à base de amido do caroço de abacate e quitosana

A obtenção dos biofilmes de amido do caroço de abacate com quitosana se deu através da técnica de *Casting* caracterizada pela evaporação do solvente da solução filmogênica, baseando-se na metodologia descrita por Gontard *et al.* (1992), com modificações. Foram inicialmente preparadas 10 formulações, variando as quantidades de amido do caroço de abacate, quitosana, e glicerol. Foi considerada como “mais viável” a formulação cujo filme apresentou maior

transparência/menor opacidade e maior resistência à manipulação tátil. A formulação selecionada foi utilizada como base para a obtenção dos filmes com adição de extrato da semente de jatobá (a descrição da metodologia está sob sigilo de patente a ser depositada). Foram elaborados filmes com três concentrações diferentes de extrato, os quais foram codificados como E01 (filme com 5% de extrato), E02 (filme com 10% de extrato) e E03 (filme com 15% de extrato), além do filme que não recebeu nenhuma concentração de extrato (codificado como E00), sendo este utilizado como “controle” para as análises de caracterização realizadas posteriormente. Para incorporação aos filmes o extrato de semente de jatobá foi filtrado e submetido à rotaevaporação a 40°C e sob 50 rpm, em rotaevaporador (Fisatom, modelo-208), para remoção do solvente.

4.9. Análises físico-química dos filmes

4.9.1. Umidade

Para a determinação da umidade, quadrados em triplicata dos filmes medindo 4x4cm foram pesados e secos em estufa de secagem a 105 °C por 24 horas (AOAC, 2012). O teor de umidade foi calculado através da seguinte equação:

$$\text{Umidade (\%)} = (P1 - P2) / P1 \cdot 100$$

Onde:

P1 = peso inicial dos filmes, em gramas, antes da secagem;

P2 = valor da massa seca inicial + peso do filme após secagem.

4.9.2. Solubilidade em água

Para a determinação da solubilidade em água, quadrados em triplicata dos filmes medindo 4x4 cm foram pesados e imersos por 24 horas em água destilada e em seguida, foram secos em estufa de secagem a 105 °C por 24 horas (Sothornvit *et al.*, 2010). A solubilidade foi calculada através da seguinte equação:

$$\text{Solubilidade (\%)} = (P1 - P2) / P1 \times 100$$

Onde:

P1 = peso inicial dos filmes, em gramas, antes da secagem;

P2 = peso final do filme após secagem.

4.9.3. Permeabilidade do vapor de água (PVA)

Béqueres de 50 mL foram preenchidos com sílica gel azul (UR 0%) e suas bordas foram cobertas com os filmes. Os recipientes foram colocados em dessecador com água destilada em seu interior (UR 100%) a 25 °C por 24 h (ASTM E96, adaptada). A permeabilidade ao vapor de água (PVA) foi determinada a partir do cálculo do ganho de massa e o tempo através da fórmula abaixo e os resultados expressos em $\text{g m} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$\text{PVA} = (P \times e) / (\text{PS} \times t \times A)$$

Onde:

P = massa (g);

e = espessura do filme;

t = tempo (s);

A = Área do filme (m^2).

PS = pressão de saturação à 25°C

4.9.4. Espessura

A espessura dos filmes foi realizada em seis pontos diferentes através de paquímetro digital Pantec modelo 11112B-150, em triplicata.

4.9.5. Cor

A cor dos filmes foi verificada em seis pontos aleatórios com auxílio de um colorímetro digital (KONICA MINOLTA, CR-10, Tóquio, Japão), através das coordenadas a^* (vermelho e verde, onde +a indica vermelho e -a indica verde), b^* (amarelo e azul, onde +b indica amarelo e -b indica azul) e L^* (brilho), em triplicata.

4.9.6. Opacidade

Para a análise da opacidade dos filmes, retângulos dos mesmos foram recortados e colocados em cubeta de vidro. A leitura das amostras foi realizada através de espectrofotômetro UV-KAZUAKI, IL-226-NM (Tóquio, Japão) a 540 nm, em triplicata. Para a determinação da opacidade dos filmes, foi considerada a seguinte fórmula (Rocha *et al.*, 2014):

$$\text{Opacidade} = \text{Abs}_{540} / T$$

Onde:

Abs_{540} = absorvância dos filmes à 540 nm;

T = espessura dos filmes

4.10. Análise da atividade antibacteriana dos filmes

Para a análise da atividade antibacteriana, foram preparadas suspensões de bactérias em solução salina a 0,9% na concentração de $1,5 \times 10^8$ UFC/mL em seguida, adicionou-se 500 μ L de cada suspensão bacteriana, 500 μ L de meio de cultura líquido *Brain Heart Infusion Broth* (BHI) e um pedaço de filme medindo 1 cm² em tubos *ependorf* de 2 mL, sendo mantidos sob incubação a 35°C por 24 horas. Para o controle negativo, foram adicionados aos microtubos apenas a suspensão bacteriana e o caldo BHI. A leitura da densidade óptica foi realizada em espectrofotômetro UV-KAZUAKI, IL-226-NM (Tóquio, Japão) a 600 nm, em duplicata. A taxa de inibição bacteriana dos filmes se deu através da equação seguinte:

$$\text{Taxa de inibição} = (1 - A_1/A_0) \times 100$$

Onde:

A_0 = Equivale a absorvância do controle negativo;

A_1 = Equivale a absorvância das amostras com os filmes.

4.11. Atividade antioxidante dos filmes

A atividade antioxidante dos filmes foi determinada conforme descrito por Soares e Santana (2023). Pedacos dos filmes (250mg) foram diluídos em 5 mL de álcool metílico e agitados por 3h em agitador orbital do tipo Shaker. As soluções foram filtradas em papel filtro e a fração sobrenadante utilizada nas análises pelos métodos FRAP, ABTS e DPPH, em duplicata. Para o FRAP, 150 μ L do sobrenadante foram homogeneizados com 2.850 μ L do reagente FRAP constituído de tampão acetato, solução de TPTZ e solução de cloreto férrico. A leitura da absorvância foi realizada a 593 nm. Os resultados foram expressos em μ mol de Trolox/g. Para o ABTS, 1 mL do radical ABTS foi adicionado a 55 mL de álcool etílico para obtenção de uma absorvância inicial de 0,700 em 734 nm. Posteriormente, 2.970 μ L do radical foram misturados com 30 μ L do sobrenadante e foram deixados sob repouso no escuro por 6 minutos. Como “branco”, utilizou-se metanol puro e as amostras foram lidas a 734 nm. Para o DPPH, 500 μ L do sobrenadante (metanol puro foi utilizado como “branco”) foram homogeneizados com 2 mL de reagente DPPH a 0,06 mM, agitados em vortex e deixados em repouso sobre o abrigo da luz por 30 minutos. Em seguida a leitura da absorvância foi realizada em comprimento de onda de 517 nm.

As taxas de inibição dos métodos ABTS e DPPH foram calculadas de acordo com a equação:

$$\text{Taxa de inibição} = (1 - A_1/A_0) \times 100$$

A_0 = Equivale a absorbância do “branco”;

A_1 = Equivale a absorbância das amostras com os sobrenadantes dos filmes.

4.12. Análise termogravimétrica (TGA) dos filmes

A estabilidade térmica dos filmes foi avaliada através de analisador termogravimétrico (Hitachi, STA720RV, Tóquio, Japão), operando na faixa de temperatura de 0 a 600°C utilizando atmosfera de nitrogênio com vazão de 30 mL/min e aquecimento na taxa de 10°C/min. Os termogramas de perda de massa foram expressos em função da faixa de temperatura (Sueiro *et al.*, 2016).

4.13. Análise térmica de Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC) dos filmes

As características térmicas dos filmes por Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC) por meio de um equipamento TA instruments, modelo Q20, sob atmosfera de nitrogênio (vazão de 30 mL/min) e temperatura de 0 a 300°C, com intervalos de aquecimento de 10 °C/min de acordo com a metodologia executada por Campagner *et al.* (2014).

4.14. Análise da biodegradabilidade dos filmes

A capacidade de biodegradação dos filmes foi avaliada por cinco semanas de forma qualitativa de acordo com modificações realizadas na metodologia executada por Lucena *et al* (2017), baseando-se no aspecto visual dos filmes. Em triplicata, quadrados de filmes medindo aproximadamente 3 cm² foram enterrados a uma profundidade 4 cm da superfície em copos plásticos biodegradáveis do tipo PET (Polietileno Tereftalato) PCR (*Post-Consumer Recycled-100%* reciclado pós consumo) contendo solo vegetal para hortas e jardins (Figura 6). Os corpos de prova foram acondicionados em temperatura de 25°C, sendo acompanhados e regados semanalmente com 10 mL de água destilada para manter a umidade do solo. A cada 7 dias, os filmes foram desenterrados, lavados com água destilada para a retirada de solo residual, secos naturalmente e foram submetidos a registros de imagens através de fotos para comparações

posteriores com o intuito de se observar, a partir de seu aspecto visual, se o filme estava se degradando na condição proposta.

Figura 6 - Filmes sendo enterrados para a análise de biodegradação



Fonte: a autora (2024).

4.15. Aplicação dos biofilmes na conservação de melão minimamente processado

Frutos maduros de melão amarelo (*Cucumis melo*, L), sem injúrias mecânicas foram adquiridos em estabelecimento comercial no município de São Cristóvão - Sergipe e foram minimamente processados de acordo com o fluxograma recomendado por Bastos e Alves (2004), com pequenas modificações.

Os frutos foram lavados com detergente neutro e mantidos sob refrigeração por 24 h para diminuição da temperatura interna antes do processamento. Posteriormente, os melões foram sanitizados com solução de sanitizante próprio para vegetais da marca StartClor®, na concentração de 150 mg/L, por 20 min, seguidos de descascamento e corte em cubos de aproximadamente 2 cm, enxágue em uma nova solução a 3 mg/L do mesmo sanitizante utilizado anteriormente e drenagem.

Porções de 80 g de melão foram acondicionadas em potes de plásticos biodegradáveis e em seguida, cobertos com o filme E00 (filme sem extrato) e com o filme com extrato, o qual foi selecionado após os resultados da caracterização físico-química e atividade antimicrobiana e antioxidante dos filmes (Figura 7). Potes nos quais os melões não foram recobertos com nenhum dos dois filmes foram utilizados como “controle”. Os corpos de prova foram mantidos em refrigerador a 5°C por 14 dias, tendo seus parâmetros de sólidos solúveis totais, pH, acidez titulável, perda de massa e contagens de bactérias aeróbias mesófilas e bolores e leveduras totais)

nos dias 0, 4, 7, 11 e 14 de armazenamento. Para cada tempo de estocagem foram realizadas triplicatas e os experimentos foram realizados em duplicata. Para as análises referentes ao tempo 0, as amostras foram coletadas ao término do processamento dos melões.

Figura 7 - Aplicação dos filmes sem extrato (A) e com extrato da semente de jatobá (B) em melão minimamente processado



Fonte: a autora (2024).

4.15.1. Sólidos solúveis totais

Em triplicata, 10 g de melão minimamente processado de cada tempo de avaliação foram macerados e com um conta-gotas, uma alíquota de amostra foi coletada. O teor de sólidos solúveis totais foi medido em °Brix através de um refratômetro óptico manual com precisão de $5\pm\%$ (IAL, 2008).

4.15.2. pH

Em triplicata, 10 g de melão minimamente processado de cada tempo de avaliação foram macerados, seguido da adição de 90 mL de água destilada e homogeneização. O potencial hidrogeniônico foi determinado através de um pHmetro digital previamente calibrado (IAL, 2008).

4.15.3. Acidez titulável

Em triplicata, 10 g de melão minimamente processado de cada tempo de avaliação foram macerados, seguido da adição de 90 mL de água destilada, 3 gotas de solução de fenolftaleína a 1%

e homogeneização. Posteriormente, as amostras foram tituladas até obtenção de coloração rósea persistente com solução padronizada de NaOH a 0,1 M e o teor de ácido cítrico determinado através da seguinte fórmula (IAL, 2008):

$$\text{Acidez (mL/100 g)} = V \times f \times M \times \text{PM}/10 \times P \times n$$

Onde:

V = volume de NaOH gasto na titulação;

f = fator de correção da solução de NaOH;

M = molaridade da solução de NaOH;

PM = peso molecular (g) do ácido correspondente (ácido cítrico);

P = massa da amostra;

n = número de hidrogênios ionizáveis do ácido cítrico

4.15.4. Cor

A análise da cor do melão minimamente processado submetido aos filmes foi realizada de forma qualitativa por meio de análise visual comparando as amostras submetidas aos filmes com as amostras do grupo controle (amostras sem filmes).

4.15.5. Análises microbiológicas

4.15.5.1. Contagem de bactérias aeróbias mesófilas

Em triplicata, 10 g de melão minimamente processado de cada tempo de avaliação foram macerados e diluídos em 90 mL de solução salina estéril, seguido de homogeneização. Foram realizadas diluições seriadas até a 10^{-4} e 1 mL de cada diluição foi inoculada em placas de petri através do método “*pour plate*” com Ágar Padrão para Contagem (PCA). As placas foram incubadas por 48 h a 35 °C e as colônias foram contabilizadas. O número de bactérias foi expresso em log de Unidade Formadora de Colônias (UFC)/g.

4.15.5.2. Contagem de bolores e leveduras

Em triplicata, 10 g de melão minimamente processado de cada tempo de avaliação foram macerados e diluídos em 90 mL de solução salina estéril, seguido de homogeneização. Foram realizadas diluições seriadas até a 10^{-4} e 1 mL de cada diluição foi inoculada em placas de petri através do método “*pour plate*” com Ágar Sabouraud Dextrose contendo Cloranfenicol. As placas

foram incubadas por 7 dias a 35 °C e as colônias foram contabilizadas. O número de bolores e leveduras totais foram expressos em log de UFC/g.

4.15.6. Perda de massa

A análise da perda de massa do melão minimamente processado em cada tempo de armazenamento foi obtida considerando a seguinte fórmula (Firdaus *et al.*, 2024):

$$\text{Perda de massa} = [(massa\ inicial - massa\ final)/(massa\ inicial)] \times 100$$

4.16. Análise estatística

Os resultados foram analisados usando Stat Software Inc. (1984–2007) Versão do programa 8.0. As amostras de melão (80 g) foram avaliadas (duas repetições × três tratamentos × três amostras em cada tratamento por tempo) por 0, 3, 7, 11 e 14 dias de armazenamento. Os tratamentos foram utilizados em blocos completos casualizados. Todos os parâmetros físico-químicos e microbiológicos foram determinados em triplicata. Foi realizada análise de variância Two-way (ANOVA) com dois fatores (tratamentos e tempo de armazenamento) para todas as variáveis dependentes (parâmetros), e os resultados foram expressos como médias e desvios padrão. A significância estatística dos dados experimentais foi avaliada usando um nível de probabilidade de $p \leq 0,05$. A significância dos valores médios para comparações múltiplas foi analisada pelo teste post-hoc de Tukey em $p \leq 0,05$.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Compostos bioativos do extrato da semente do fruto do jatobá

O extrato de sementes de jatobá foi obtido em solução aquosa de etanol 80% e os teores de compostos fenólicos totais e os flavonoides totais foram de 8.833,33 (mg EAG/100g) e 36,43 (mg QCE/100 g), respectivamente. Scaramussa *et al.* (2022) obtiveram valor inferior de 5.135,61 mg EAG/100 g de fenólicos totais no extrato em etanol 80% para a semente de jatobá. Provavelmente este resultado pode ser devido a concentração dos compostos durante o tempo que as sementes ficaram armazenadas em geladeira antes de serem utilizadas para as análises.

5.2. Atividade antibacteriana do extrato da semente do jatobá

O extrato foi avaliado quanto a atividade antibacteriana e observou-se diferenças significativas entre os diâmetros dos halos de inibição (Tabela 1). *B. cereus*, *P. aeruginosa*, *S. aureus* e *E. faecalis* foram sensíveis ao extrato da semente de jatobá, contudo, os maiores diâmetros dos halos de inibição formados (10 mm) foram observados em *B. cereus*, *E. faecalis* e *P. aeruginosa* sendo para esta última bactéria obtido maior inibição do que com o antibiótico Gentamicina e próximo ao valor obtido com Cloranfenicol (10,5 mm). Os resultados foram similares aos obtidos por Scaramussa *et al.* (2022), cujos halos de inibição foram entre 7,0 e 10,5 mm para o extrato em etanol a 80% da semente do fruto do jatobá. Boniface *et al.* (2017) constataram a presença de terpenos, compostos químicos com ação bactericida e fungicida, nas sementes de jatobá. Com base nisso, o potencial antimicrobiano do extrato da semente do jatobá aqui verificado pode estar associado a estes compostos. Corroborando, Veggi *et al.* (2014) relacionaram a capacidade de inibir o desenvolvimento bacteriano às procianidinas presentes tanto nas cascas quanto nas sementes do jatobá.

Tabela 1 - Atividade antibacteriana do extrato da semente de jatobá

Bactéria	Diâmetro dos halos de inibição (mm)		
	Extrato da semente do jatobá (12 mg/mL)	Gentamicina (10 µg/mL)	Cloranfenicol (30 µg/mL)
<i>B. cereus</i>	10,1 ± 0,2 ^{Ca}	23,3 ± 0,94 ^{Bb}	24,6 ± 0,47 ^{Ab}
<i>S. enteritidis</i>	8,0 ± 0,0 ^{Cc}	26,1 ± 0,23 ^{Aa}	14,3 ± 0,23 ^{Bc}
<i>E. coli</i>	8,0 ± 0,0 ^{Bc}	8,5 ± 0,40 ^{Be}	23,6 ± 0,47 ^{Ab}
<i>S. marcescens</i>	8,3 ± 0,2 ^{Cbc}	16,5 ± 0,40 ^{Bd}	27,3 ± 0,47 ^{Aa}
<i>B. subtilis</i>	7,8 ± 0,2 ^{Bc}	25,0 ± 0,0 ^{Aa}	24,0 ± 0,0 ^{Ab}
<i>P. aeruginosa</i>	10,1 ± 0,2 ^{Aa}	8,0 ± 0,0 ^{Be}	10,5 ± 0,0 ^{Ae}
<i>S. typhimurium</i>	7,0 ± 0,0 ^{Cc}	8,5 ± 0,0 ^{Be}	12,0 ± 0,0 ^{Ad}
<i>S. aureus</i>	9,5 ± 0,4 ^{Bab}	26,0 ± 0,4 ^{Aa}	26,8 ± 0,62 ^{Aa}
<i>E. faecalis</i>	10,0 ± 0,0 ^{Ca}	20,8 ± 0,62 ^{Bc}	26,16 ± 1,54 ^{Aa}

Média ± Desvio Padrão.

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de significância. Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de significância.

Fonte: a autora (2024).

5.3. Rendimento da extração e determinação da composição centesimal do amido do caroço de abacate

O amido extraído do caroço de abacate apresentou coloração branca (Figura 8) e sua extração correspondeu a um rendimento de 7,13%, sendo inferior ao encontrado por Martins *et al.* (2022) que obtiveram 19,54% de rendimento do amido extraído a partir de uma metodologia semelhante. No presente estudo, uma das etapas de extração consiste em lavagens sucessivas após a decantação, sendo observada perda de amido durante esse processo, fato que poderia explicar o rendimento final relativamente baixo de amido obtido. Além disso, alguns fatores podem influenciar o amido e, possivelmente, a sua quantidade no caroço de abacate como a genética, variedade do fruto, técnica de extração utilizada, além da composição do solo e das condições de pré-colheita nas quais o fruto foi submetido (Salazar-Irrazabal *et al.*, 2023; Nunes *et al.*, 2009). Wang *et al.* (2022) avaliaram os rendimentos da extração de amido dos caroços de oito diferentes variedades de abacates, observando uma variação na taxa de rendimento de extração de 12,6%-26,3% entre elas e ligaram o fato às variedades distintas de abacate testadas.

Figura 8 - Amido extraído do caroço de abacate



Fonte: a autora (2024).

Na Tabela 2 está representada a composição centesimal do amido obtido. O amido do abacate demonstrou teor de carboidratos de 87,85%, os teores de proteínas de 2,68%, os de lipídios de 2,54% e de umidade de 6,86%, quantidades maiores do que as encontradas por Martins *et al.* (2022) que obtiveram 55,07% para carboidratos, 1,60% para proteínas e 1,68% para lipídios. Em relação ao teor de cinzas, os autores quantificaram 0,33% enquanto neste trabalho o amido extraído

apresentou apenas 0,05% de matéria inorgânica. Estas diferenças podem ser devido também às diferenças na variedade do abacate, condições de cultivo e composição do solo.

Tabela 2 - Composição centesimal do amido

Constituintes	Teor (%) (média ± desvio padrão)
Carboidratos	87,85 ± 0,42
Proteínas	2,68 ± 0,03
Lipídios	2,54 ± 0,04
Cinzas	0,05 ± 0,01
Umidade	6,86 ± 0,40

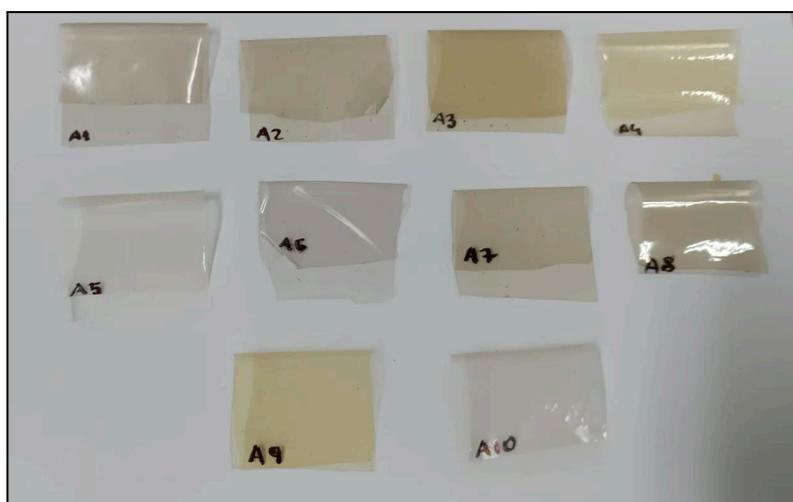
Média ± Desvio Padrão.

Fonte: a autora (2024).

5.4. Seleção das formulações dos filmes

Inicialmente, foram elaboradas dez formulações de filmes utilizando quantidades distintas de amido da semente do caroço do abacate e quitosana e glicerol (Figura 9).

Figura 9- Filmes elaborados a partir de diferentes formulações de amido do caroço de abacate, quitosana e glicerol



Fonte: a autora (2024).

As formulações analisadas foram enumeradas de A1-A10, nas quais as amostras A1 e A6 continham em sua composição mais amido do que quitosana; as amostras A3 e A8 continham mais

quitosana do que amido; A2 e A7 com amido e quitosana nas mesmas proporções, sendo A2 com menos glicerol que A7; A4 e A9 somente com quitosana, sendo A4 com menos glicerol que A9 ; e A5 e A10 somente com amido, sendo A5 com menos glicerol que A10.

Ao analisar os filmes de forma visual e tátil, observou-se diferenças entre os filmes quanto às características analisadas. Em relação à cor, embora ambas formulações tenham apresentado filmes translúcidos, observou-se que a adição de quitosana à formulação possibilitou a formação de filmes menos esbranquiçados e, conseqüentemente, mais transparentes quando comparados aos filmes compostos somente por amido (Figura 10). A transparência é uma característica importante quando se trata de filmes, principalmente de sua aplicação pela indústria de alimentos (Yasunaga *et al.*, 2023).

Figura 10- A - Filme elaborado somente com amido do caroço do abacate; B - Filme elaborado com o *blend* de amido e quitosana



Fonte: a autora (2024).

Os filmes elaborados com a maior concentração de quitosana em relação à concentração de amido (ou ausência deste), se apresentaram mais amarelados (formulações A3, A4, A8 e A9) enquanto aqueles obtidos com a maior concentração de amido (formulações A1 e A6), possuem coloração acinzentada (Figura 10). Uma hipótese para isto ter sido verificado, é o fato da coloração de filmes biodegradáveis sofrer influência da cor dos constituintes da sua matriz polimérica, como neste caso, do amido e da quitosana. Além disso, ao averiguar a coloração dos filmes produzidos com as mesmas quantidades de quitosana e amido, constatou-se que ambos apresentaram o mesmo tom de cinza levemente amarelado, divergindo também dos filmes que possuem em sua

composição somente amido (formulações A5 e A10) os quais foram definidos como filmes mais esbranquiçados.

No que diz respeito à maleabilidade dos filmes, as dez formulações possibilitaram a obtenção de filmes maleáveis, contudo, naqueles com a menor concentração de glicerol em sua composição (formulações A1-A5) foi observada uma diminuição sutil da sua flexibilidade em relação às formulações com uma maior concentração de plastificante (formulações A6-A10). O glicerol é um dos plastificantes mais utilizados na síntese de filmes biodegradáveis à base de polissacarídeos por ser de natureza polar e não volátil, além de apresentar características como alto ponto de ebulição e solubilidade que, quando adicionado aos filmes, altera as propriedades mecânicas da matriz polimérica, conferindo-lhe uma diminuição da rigidez e aumento da sua flexibilidade (Montoille *et al.*, 2021). Um ponto a ser destacado é que, embora os filmes sintetizados com mais glicerol tenham se mostrado mais flexíveis, essa flexibilidade também acarretou em filmes menos resistentes à manipulação tátil, os quais tendem a se romper mais facilmente ao serem manipulados quando comparados aos filmes elaborados com as cinco primeiras formulações. Desta forma, levando em consideração os parâmetros visuais e táteis analisados, a formulação A1 (formulação com quantidade de amido maior que a de quitosana) foi a formulação selecionada para os experimentos seguintes, uma vez que apresentou um filme mais translúcido, mais maleável e, aparentemente, resistente.

Após a escolha da formulação, elaborou-se filmes com três concentrações diferentes do extrato rotaevaporado da semente do fruto do jatobá. Os filmes E00 (filme sem adição de extrato, formulação “controle”), E01 (concentração de 5% de extrato), E02 (concentração 10% de extrato) e E03 (concentração de 15% de extrato) estão apresentados na Figura 11.

Figura 11 - Filmes elaborados com adição de extrato da semente de jatobá em diferentes concentrações.



Fonte: a autora (2024).

5.5. Análises físico-química dos filmes

5.5.1. Umidade e solubilidade em água

Os teores de umidade dos filmes variaram entre 8,53% e 21,23%, sendo maior no filme controle e menor no filme com 15% de extrato, ($p \leq 0,05$). Foi observado que os filmes tiveram a umidade reduzida à medida que concentrações aumentadas de extrato foram adicionadas. Karkar *et al.* (2023) também obtiveram redução de umidade em filmes de quitosana para a conservação de uvas ao adicionar extrato de *Nigella sativa* L. Apesar de filmes de quitosana e de amido serem caracterizados pelo alto teor de umidade devido ao comportamento hidrofílico desses dois polímeros, a incorporação de extratos reduziu a umidade. De acordo com Rambabu *et al.* (2019) isso é possível devido a adição de substâncias hidrofóbicas contidas no extrato à estrutura do filme, o que acarreta no aumento da propriedade de barreira e conseqüentemente, reduz a umidade do polímero. Já Soares e Santana (2023) e Crizel *et al.* (2018) obtiveram aumento da umidade em filmes de quitosana contendo extrato da casca de romã, e filme de quitosana e carotenoproteínas, respectivamente, devido a possível adição de moléculas hidrofílicas presentes no extrato utilizado.

Por se tratar de uma embalagem bioativa, a diminuição da umidade com a incorporação do extrato de semente de jatobá confere uma característica interessante aos filmes de amido do caroço de abacate obtidos, uma vez que, de acordo com Mouhoub *et al.* (2023), um material destinado a ser utilizado como embalagem para alimentos deve reduzir o contato destes com a água.

Quanto à solubilidade em água, foi observada uma redução da solubilidade dos filmes incorporados com extrato em relação ao filme controle, diferindo estatisticamente ($p \leq 0,05$), sendo a menor solubilidade apresentada pela formulação E02 (contendo 10% de extrato) (32,29%) e a maior pelo filme controle (43,62%).

Tabela 3 - Teor de umidade (%) e de solubilidade (%) dos biopolímeros produzidos

Filmes	Teor de Umidade (%)	Solubilidade em água (%)
E00	21,23 ± 0,164 ^a	43,62 ± 0,049 ^a
E01	16,22 ± 0,157 ^b	37,43 ± 0,172 ^b
E02	9,39 ± 0,168 ^c	32,29 ± 0,114 ^d
E03	8,53 ± 0,25 ^d	33,20 ± 0,164 ^c

Média ± Desvio Padrão.

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam que houve diferença significativa entre os filmes ($p \leq 0,05$) pelo Teste de Tukey. Fonte: a autora (2024).

Similar ao observado com a umidade, a solubilidade em água dos filmes também foi influenciada pela adição do extrato. Foi possível observar que o filme controle (E00) apresentou maior solubilidade. Para os filmes com extrato, a solubilidade diminuiu com o aumento da concentração do extrato sendo esta maior no filme E01 (com 5% de extrato). Uma explicação seria o aumento das interações entre os polifenóis presentes no extrato e a matriz polimérica do filme, resultando em uma redução da hidrofobicidade (Bertolo *et al.*, 2022) acarretando então na diminuição da solubilidade, uma vez que reduz a interação do filme com a água. Além disso, para Flórez *et al.* (2023), a solubilidade do filme está associada às modificações que ocorrem nas ligações de hidrogênio, assim como na ionização dos grupos amino e carboxila.

A verificação da solubilidade em água é crucial quando se trata de filmes biodegradáveis, para verificar a resistência do bioplástico a uma substância aquosa. Em se tratando da sua aplicação como embalagens para alimentos, principalmente frutas minimamente processadas que possuem em sua composição um alto teor de água, filmes não muito solúveis apresentam um maior potencial de aplicação quando comparados a filmes que se dissolvem com facilidade em contato com a água (Agarwal *et al.*, 2023). Desta forma, a diminuição da solubilidade dos filmes aqui observada com o aumento da adição de extrato, é um fato interessante a ser considerado.

5.5.2. Permeabilidade ao vapor de água (PVA)

A permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos filmes não apresentou diferença significativa entre os tratamentos do ponto de vista estatístico ($p \leq 0,05$) (Tabela 4), mas os valores foram bem menores do que os obtidos por Menezes *et al.* (2021) que observaram em filmes de quitosana e amido de mandioca com e sem incorporação de dióxido de titânio, taxas de permeabilidade ao vapor entre 9 e 20 $\text{g m} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, sendo o maior valor no filme exclusivamente de quitosana e o menor em filmes elaborados somente com amido. A permeabilidade ao vapor de água é um parâmetro crucial a ser avaliado quando trata-se de embalagens alimentícias. Em filmes com valores altos de PVA pode ocorrer a troca do vapor de água dos alimentos e o meio externo causando perda de água do alimento ou estimular a deterioração de alimentos secos ao possibilitar que alguma umidade presente no meio externo entre em contato com o alimento. Em ambos os casos, ocorre uma diminuição da qualidade alimentar, tanto do ponto de vista microbiológico quanto organoléptico (Ma *et al.*, 2024). Neste caso é desejável filmes com menores valores de PVA como os obtidos neste estudo.

Tabela 4 - Permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos filmes

Filmes	PVA ($\text{g m} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)
E00	$5,01 \times 10^{-9}$ ^a
E01	$2,47 \times 10^{-9}$ ^a
E02	$3,66 \times 10^{-9}$ ^a
E03	$2,46 \times 10^{-9}$ ^a

Médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de significância.
Fonte: a autora (2024).

5.5.3. Espessura

A espessura dos filmes é determinada ao avaliar a distância perpendicular entre as duas superfícies principais do material e através dela, é possível obter dados sobre a resistência mecânica, as propriedades de barreira contra os gases e a vaporização do polímero (Henrique *et al.*, 2008).

A espessura apresentada pelos filmes em triplicata, conforme a tabela 5, estiveram entre 0,002 mm e 0,003 mm, as quais não diferiram estaticamente ($p \leq 0,05$) entre si. De forma semelhante, Soares e Santana (2023) também não observaram aumento da espessura em filmes de

quitosana incorporados com diferentes concentrações de extrato da casca de romã. Resultado diferente foi obtido por Guo *et al.* (2024) que verificaram o aumento da espessura dos filmes de quitosana incorporados com acroleína, provavelmente devido ao aumento do teor de sólidos presentes na matriz polimérica. De forma semelhante, Rambabu *et al.* (2019) e Sun *et al.* (2019) também observaram o aumento na espessura em filmes de quitosana ao incorporar componentes funcionais como extrato da folha de manga e lisozimas e taninos, respectivamente.

Tabela 5 - Espessura dos filmes

Filmes	Espessura
E00	0,003 ± 0,00 ^a
E01	0,003 ± 0,00 ^a
E02	0,0033 ± 0,00 ^a
E03	0,002 ± 0,00 ^a

Média ± Desvio Padrão.

Letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que não houve diferença significativa entre os filmes ($p \leq 0,05$) pelo Teste de Tukey. Fonte: a autora (2024).

5.5.4. Características visuais (cor e opacidade)

As características visuais, como a cor e opacidade, de filmes utilizados como embalagens de alimentos é essencial para avaliar a sua influência na aceitação dos mesmos por parte do consumidor, bem como a sua capacidade e proteger os alimentos dos raios UV aos quais são submetidos (Bhatia *et al.*, 2024). Na tabela 6 estão apresentados os valores referentes aos parâmetros analisados para a cor dos filmes, assim como os dados obtidos a partir da análise da sua opacidade.

Tabela 6 - Cor e opacidade dos filmes

Filmes	Cor			Opacidade
	a*	b*	L*	
E00	8,706 ± 0,016 ^d	25,803 ± 0,047 ^d	59,400 ± 0,028 ^a	47,55 ± 0,015 ^d
E01	20,203 ± 0,059 ^c	39,206 ± 0,026 ^a	40,603 ± 0,020 ^b	70,77 ± 0,090 ^c

E02	26,906 ± 0,026 ^b	26,800 ± 0,037 ^b	30,503 ± 0,024 ^c	252,22 ± 0,015 ^b
E03	30,403 ± 0,016 ^a	33,806 ± 0,026 ^c	26,700 ± 0,037 ^d	421,16 ± 0,235 ^a

Legenda: *a = +a (vermelho)/ -a (verde); *b = +b (amarelo)/ -b (azul); *L = luminosidade.

Média ± Desvio Padrão.

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam que houve diferença significativa entre os filmes ($p \leq 0,05$) pelo Teste de Tukey.

Fonte: a autora (2024).

Os atributos visuais referentes a cor e a opacidade dos biofilmes tiveram suas características influenciadas pela incorporação e aumento da concentração do extrato da semente do jatobá, sendo observado, do ponto de vista estatístico, diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre as amostras em relação aos parâmetros de coloração.

Em relação ao parâmetro *a (vermelho e verde), que variou entre 8,8 e 30,4, as três amostras de filmes incorporados com o extrato apresentaram a cor avermelhada a qual pode estar relacionada aos compostos fenólicos e antocianinas presentes no extrato da semente do jatobá (Kumar *et al.*, 2021), que conferem ao extrato uma coloração vermelho escuro.

Em relação ao parâmetro *b (amarelo e azul), obtidos entre 25,8 e 33,8, é possível observar que o filme com a menor concentração de extrato incorporado (5% de extrato) (E01) teve maior valor de b*, diferindo estatisticamente dos demais ($p \leq 0,05$), ou seja apresentou uma coloração mais amarelada.

Em relação ao parâmetro L* (luminosidade), que variou entre 26,7 e 59,4, o maior valor de luminosidade/brilho foi obtido pelo filme sem extrato e conseqüente menor opacidade ($p \leq 0,05$). Os maiores valores de opacidade e menor luminosidade dos demais filmes deve-se à presença do extrato, o qual contém coloração escura.

Apesar de aparência translúcida das embalagens alimentícias ser um fator muitas vezes determinante na escolha do consumidor, cabe salientar que embalagens transparentes podem acelerar a deterioração oxidativa dos alimentos, uma vez que permite a passagem de uma maior quantidade de luz através delas (Tilwani *et al.*, 2023). Além disso, a transparência de um polímero pode ser avaliada através da sua opacidade (quanto mais opaco, menos transparente) e os dados obtidos demonstraram que a opacidade dos filmes aumentou à medida que o extrato foi incorporado. Este resultado deve-se à coloração escura do extrato.

5.6. Atividade antibacteriana dos filmes

As taxas de inibição antibacteriana dos filmes frente às nove cepas testadas estão representadas na tabela 7. A taxa de inibição variou entre 2,76% e 85,99%, sendo observado que

todos os filmes amostras foram capazes de inibir o desenvolvimento bacteriano. O filme sem extrato apresentou maior desempenho contra *B. cereus* (% de inibição de 42,18%) um patógeno de origem alimentar capaz de desencadear síndromes diarreicas e eméticas graves (Morandini *et al.*, 2024). A capacidade de inibição antibacteriana do filme sem incorporação de extrato pode estar ligada à quitosana presente em sua composição, a qual já foi evidenciada por alguns autores (Bhuimbar *et al.*, 2019; Casalini; Baschetti, 2023) como agente antimicrobiano, uma vez que pode aumentar a permeabilidade das células microbianas ao interagir com as cargas negativas presentes em sua membrana (Amankwaah *et al.*, 2020, Lozano-Navarro *et al.*, 2017). Os filmes com extrato demonstraram maior eficiência para inibir as bactérias do que o filme sem extrato, sendo as maiores taxas de inibição para a maioria das bactérias nos filmes com maior concentração de extrato (E02 e E03). Foi observado aumento gradativo da inibição de sete cepas à medida que a concentração de extrato incorporado foi aumentando, com destaque para *E. coli*, comumente utilizada como indicador de qualidade higiênico-sanitária de alimentos, uma vez que estar ligada a contaminação por matéria fecal (Chen *et al.*, 2024); *S. marcescens*, bastonetes gram-negativos responsáveis por infecções do trato urinário, conjuntivite e pneumonia, bem como o agravamento de infecções em ambientes hospitalares desencadeando casos de sepse (Toorop *et al.*, 2024); *B. subtilis*, uma bactéria natural do solo (Jiao *et al.*, 2024) e *S. aureus*, um dos maiores responsáveis por infecções pós-cirúrgicas e septicemia (Barada *et al.*, 2007),

Em relação aos filmes com extrato, as amostras E01 e E02 foram mais eficientes ao inibir a *P. aeruginosa* enquanto o E03, possibilitou uma maior taxa de inibição contra *S. aureus*. Soares e Santana (2023) obtiveram que filmes à base de quitosana e extrato da casca de romã demonstraram maior inibição de *B. subtilis* (65,4%) e *S. typhimurium* (63,8%). Nota-se que os filmes de quitosana incorporados com o extrato da semente de jatobá foram mais eficientes para inibir o desenvolvimento bacteriano do que os filmes nos quais foram adicionados extrato da casca de romã. O filme E03 contendo 15% de extrato destacou-se com maior inibição das bactérias *E. coli*, *P. aeruginosa* e *E. faecalis*. A provável presença de compostos antimicrobianos no extrato potencializou o efeito antibacteriano dos filmes quando comparado aos filmes sem extrato. Pesquisas têm comprovado a ação antimicrobiana da quitosana (Hasibuan *et al.*, 2021; Botezatu *et al.*, 2023), do caroço do abacate (Soledad *et al.*, 2021) e do extrato da semente de jatobá (Scaramussa *et al.*, 2022).

Tabela 7 - Taxa de inibição (%) bacteriana dos filmes

Bactérias	Filmes
------------------	---------------

	E00	E01	E02	E03
<i>B. cereus</i>	42,18 ± 2,81 ^b	50,53 ± 0,53 ^{ab}	60,0 ± 0,319 ^{ab}	71,17 ± 0,63 ^a
<i>S. enteritidis</i>	2,76 ± 1,04 ^c	71,14 ± 0,666 ^a	49,04 ± 0,28 ^b	52,28 ± 0,857 ^b
<i>E. coli</i>	14,50 ± 1,76 ^d	34,96 ± 0,17 ^c	35,02 ± 0,117 ^b	83,19 ± 0,410 ^a
<i>S. marcescens</i>	13,51 ± 4,50 ^d	41,16 ± 0,684 ^c	79,76 ± 0,399 ^a	61,34 ± 0,114 ^b
<i>B. subtilis</i>	7,54 ± 0,38 ^d	45,57 ± 2,59 ^c	59,29 ± 0,304 ^b	71,34 ± 1,52 ^a
<i>P. aeruginosa</i>	37,16 ± 3,60 ^c	79,38 ± 0,40 ^b	77,58 ± 0,232 ^a	85,83 ± 0,69 ^a
<i>S. typhimurium</i>	34,46 ± 1,45 ^d	53,15 ± 0,242 ^b	85,67 ± 0,121 ^a	48,60 ± 0,300 ^c
<i>S. aureus</i>	38,32 ± 2,10 ^d	65,48 ± 0,227 ^c	85,99 ± 0,227 ^a	74,20 ± 0,170 ^b
<i>E. faecalis</i>	40,21 ± 2,43 ^c	65,77 ± 0,62 ^b	63,65 ± 0,056 ^b	83,22 ± 0,062 ^a

Média ± Desvio Padrão.

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam que houve diferença significativa entre os filmes ($p \leq 0,05$) pelo Teste de Tukey.

Fonte: a autora (2024).

5.7. Atividade antioxidante dos filmes

A capacidade antioxidante dos filmes foi avaliada de acordo com as técnicas FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*), ABTS (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulfonic acid) e DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil). Destaca-se que os três métodos de determinação de antioxidantes foram avaliados individualmente, sendo então os valores obtidos pelos filmes em cada um deles comparados entre si pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$), não havendo assim nenhuma comparação estatística de método para método. As taxas (%) de inibição oxidante dos filmes obtidas por ABTS e DPPH estão apresentadas na tabela 8, enquanto os dados obtidos pelo método FRAP estão representados em μmol de Trolox/g na tabela 9.

Tabela 8 - Atividade antioxidante dos filmes pelos métodos ABTS e DPPH

Método	Filmes	Taxa de inibição (%)
ABTS	E00	44,35 ± 0,564 ^c
	E01	50,84 ± 0,564 ^b
	E02	55,57 ± 0,776 ^a

DPPH	E03	58,05 ± 0,847 ^a
	E00	31,95 ± 0,21 ^d
	E01	44,56 ± 0,21 ^c
	E02	60,0 ± 0,435 ^b
	E03	81,52 ± 0,655 ^a

Média ± Desvio Padrão.

Letras minúsculas diferentes no mesmo método indicam que houve diferença significativa entre os filmes ($p \leq 0,05$) pelo Teste de Tukey.

Fonte: a autora (2024).

No método de eliminação de radicais livres DPPH foi verificada diferença significativa entre as quatro amostras ($p \leq 0,05$), o que também foi verificado ao analisar a atividade antioxidante determinada pelo método ABTS, estando o filme com 15% de extrato (E03) responsável pela maior taxa de inibição de 81,51% e 58,05% respectivamente.

Tabela 9 - Atividade antioxidante dos filmes pelo método FRAP

Método	Filmes	µmol de Trolox/g
FRAP	E00	0,575 ± 0,010 ^c
	E01	0,604 ± 0,003 ^c
	E02	1,029 ± 0,014 ^b
	E03	1,857 ± 0,005 ^a

Média ± Desvio Padrão.

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam que houve diferença significativa entre os filmes ($p \leq 0,05$) pelo Teste de Tukey.

Fonte: a autora (2024).

Também a atividade antioxidante pelo método FRAP foi maior no filme E03 (1,857 µmol de Trolox/g), diferindo dos valores dos demais filmes ($p > 0,05$).

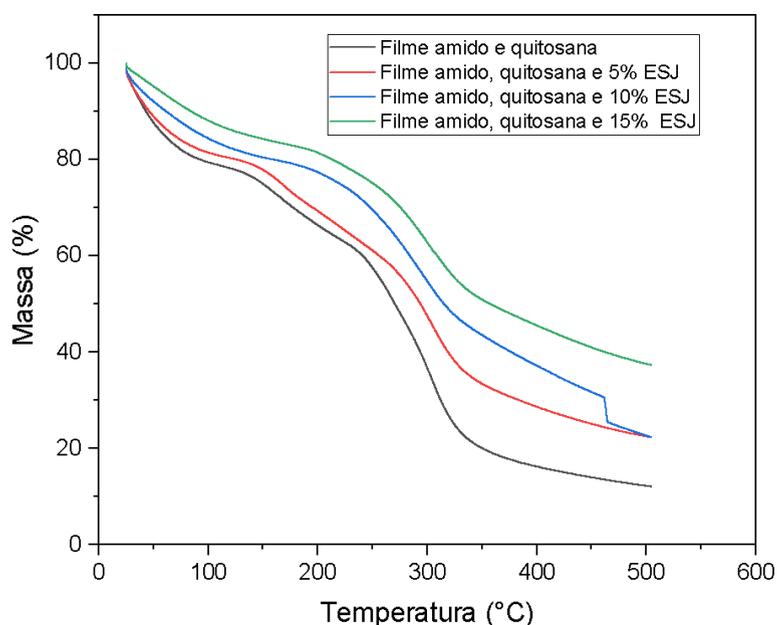
O aumento do potencial anti radicalar observado nos filmes com a incorporação do extrato, está relacionado aos teores de compostos fenólicos e flavonoides encontrados como parte da constituição dos vegetais, os quais apresentam grupos hidroxilas nos anéis aromáticos da sua estrutura, que lhes conferem a propriedade de combater os radicais livres (Sahu *et al.*, 2024). Chen *et al.* (2022) têm também destacado que o grupo amino livre (NH₂) presente na quitosana pode

eliminar radicais livres. Isto pode justificar o fato do porque que todas as amostras, até mesmo o filme controle, apresentaram atividade antioxidante.

5.8. Análise termogravimétrica (*Thermogravimetric analysis (TGA)*) e de Calorimetria Diferencial de Varredura (*Diferencial Scanning Calorimetry- DSC*) dos filmes

A estabilidade térmica dos filmes com ou sem extrato da semente do jatobá foi verificada pela perda de massa sob aumento da temperatura pelo método termogravimétrico e por DSC (Figuras 12 e 13 (A-D)).

Figura 12 - Curvas TGA dos filmes de amido de abacate e quitosana com e sem extrato da semente de jatobá (ESJ).



Fonte: a autora (2024).

Através da análise termogravimétrica, é possível determinar a redução de massa dos filmes e que, em filmes de quitosana, geralmente ocorre em três momentos distintos (Bi *et al.*, 2019) como o que foi observado neste estudo. O primeiro em temperatura de 30 a 120 °C relacionado à evaporação da água presente nos filmes; o segundo que ocorre em temperatura de 120 a 240 °C devido a degradação da quitosana e o terceiro (300-500 °C), provavelmente relacionado à degradação do extrato que foi incorporado à matriz polimérica dos filmes (Wang *et al.*, 2024)

(Figura 12). Os mesmos autores, ao analisarem a estabilidade térmica de biopolímeros elaborados com quitosana e incorporados com extrato da casca de pinheiro, observaram diferenças nas curvas da TGA, as quais atribuíram ao extrato adicionado. Também foi observado que quanto maior a concentração de extrato menor foi a perda de massa dos filmes, significando que a incorporação do extrato aumentou a estabilidade térmica.

Em relação às transições térmicas de materiais biopoliméricos contendo amido em sua composição, Aguirre-Loredo *et al.* (2023) afirmam que estas estão relacionadas à degradação que ocorre no grânulo ocasionada pelas altas temperaturas que separam as unidades da amilose e da amilopectina através do processo de gelatinização, acarretando em um novo alinhamento das cadeias poliméricas na forma de redes.

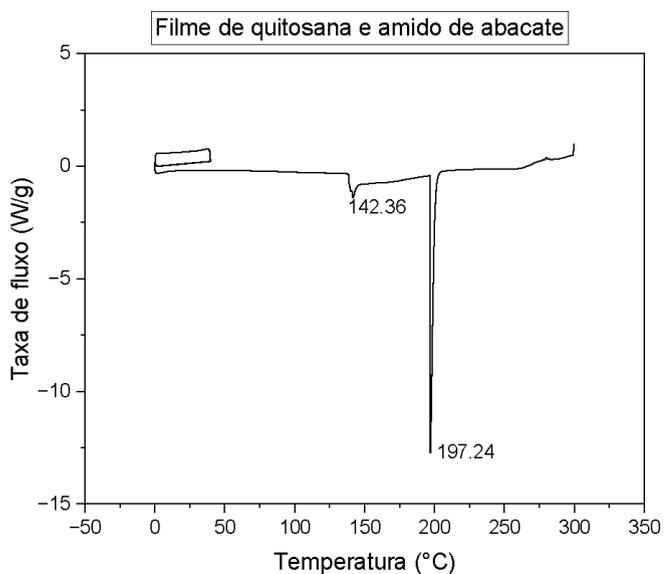
Soares e Santana (2023) e (2024) ao caracterizarem filmes de quitosana contendo diferentes concentrações de extrato da casca de romã e de jatobá, respectivamente obtiveram maiores perdas de massa nos filmes com maiores concentrações de extrato, resultado contrário ao que foi observado nesta pesquisa em que os filmes incorporados com extrato se mostraram mais resistentes, provavelmente devido à interação de amido, quitosana e extrato na matriz polimérica. Possivelmente, os compostos bioativos presentes no extrato de sementes de jatobá, como polifenóis, taninos, flavonóides, saponinas, terpenóides e ácidos graxos, desempenham papéis fundamentais no aumento da resistência térmica dos filmes de quitosana e amido ao interagirem com a matriz polimérica, formando ligações intermoleculares e atuando como barreiras térmicas e antioxidantes, o que retarda a degradação dos materiais sob altas temperaturas. Assim, o extrato não só melhora a funcionalidade bioativa do filme, mas também contribui para sua integridade estrutural em aplicações industriais que envolvem temperaturas mais elevadas.

Em filmes compostos por carboximetilquitosana, carboximetilamido e extrato de tâmara, Zidan *et al.* (2023) verificaram que a estabilidade térmica dos filmes foi maior do que a do filme sem adição de extrato e que esta era aumentada à medida que a concentração de biocomponentes incorporados também era aumentada. Para os autores, este fenômeno se deu provavelmente por haver uma interação significativa entre os constituintes do filme e do extrato, principalmente os grupos fenólicos devido às hidroxilas, o que deve também ter ocorrido no presente estudo.

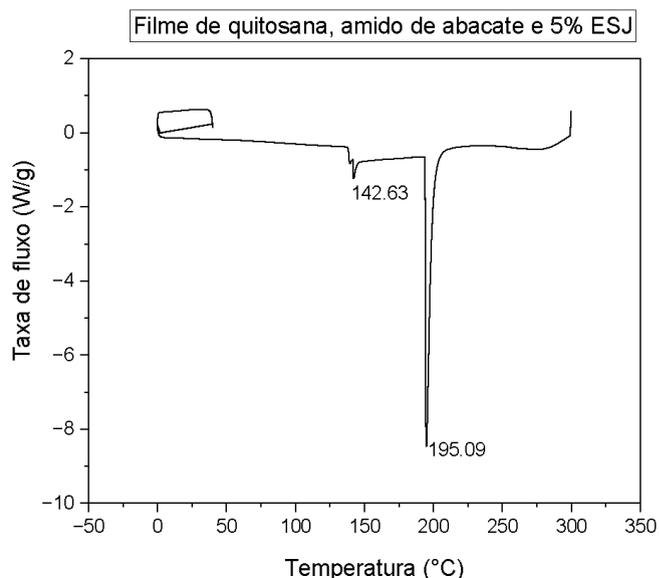
Figura 13- Curvas DSC dos filmes com quitosana e amido de abacate (formulação E00), quitosana, amido de abacate e 5% de ESJ (formulação E01), filme de quitosana, amido de abacate e 10% de ESJ (formulação E02), filme de quitosana, amido de abacate e 15% de ESJ (formulação E03).

A)

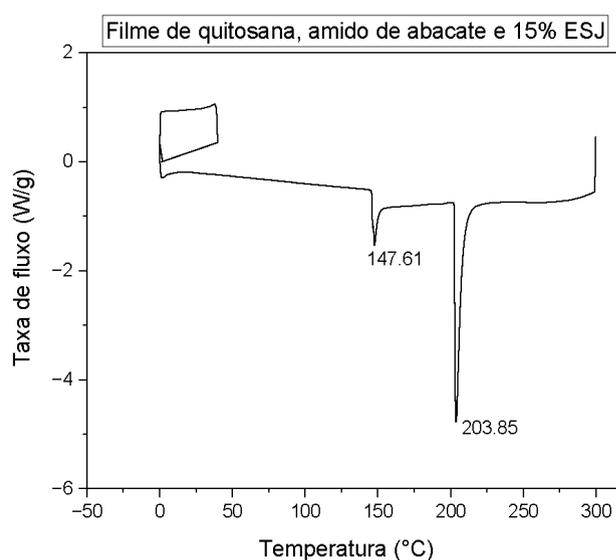
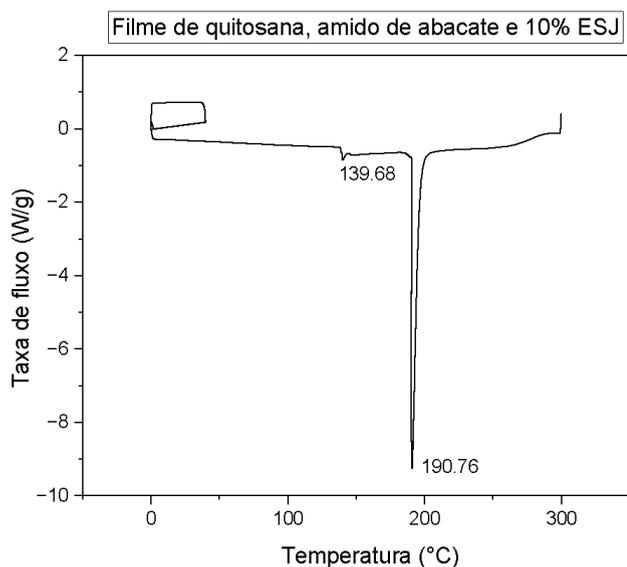
(B)



(C)



(D)



Fonte: a autora (2024).

A Calorimetria Diferencial de Varredura é uma técnica de análise térmica que avalia quanto de calor é absorvido ou liberado por uma amostra em função da temperatura ou tempo (Zidan *et al.*, 2023). Ao analisar os termogramas obtidos, observou-se picos endotérmicos entre 100 e 150 °C para os 4 filmes, provavelmente relacionados à mudança na forma cristalina do amido, caracterizada pela retrogradação dos grânulos e/ou pela desintegração das unidades de acetil-glucosamina da quitosana (Alimi *et al.*, 2023). De acordo com Barroso e Del Mastro (2019), quanto maior a temperatura na qual o amido está submetido, maior será o movimento das suas cadeias amorfas, comportamento comum em materiais de natureza polimérica.

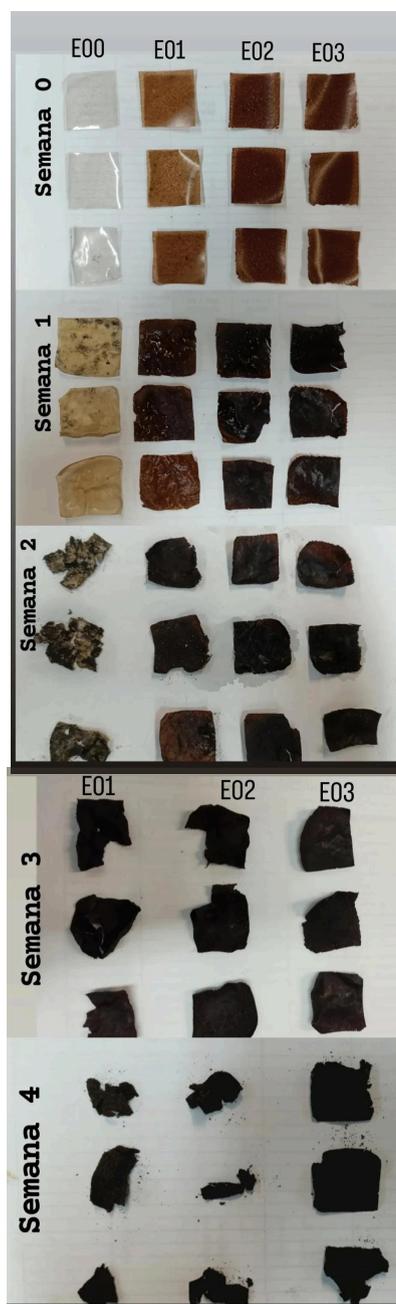
Tanto os picos endotérmicos quanto os exotérmicos observados para os filmes de amido e quitosana com e sem adição de extrato da semente do jatobá equivalem ao início da degradação e seu pico, respectivamente. Foi observado que os filmes sem adição de extrato e com adição de extrato iniciaram a degradação térmica em temperaturas entre 139,68 e 147,61°C. Os filmes sem extrato e com 5 e 10% de extrato demonstraram pico máximo de degradação térmica entre 190,76 e 197,24 °C. Já o filme com 15% de extrato apresentou o pico máximo à 203, 85 °C, indicando sua maior resistência térmica. . Em filmes contendo apenas quitosana e adicionados de extrato da casca de romã, Soares e Santana (2023) constataram que o primeiro pico de degradação ocorreu de 109 a 128 °C, temperaturas menores do que as observadas no presente estudo, sugerindo que ambos amido e extrato da semente de jatobá retardaram a degradação térmica dos filmes. Este retardo na degradação térmica pode ser devido à alterações na estrutura dos polímero quando incorporado amido e o extrato, que torna a matriz polimérica mais compacta do que a do filme de quitosana pura e, conseqüentemente, torna o filme mais estável ao calor (Khan *et al.*, 2024).

5.9. Análise da biodegradabilidade dos filmes

A biodegradabilidade dos filmes em solo fértil foi acompanhada pelo período de 5 semanas e mudanças na aparência dos filmes pôde ser notada a partir da primeira semana após o enterramento (Figura 14). A biodegradação é um processo que ocorre naturalmente e exerce um importante papel no ciclo energético do planeta. Isto se dá devido às bactérias e fungos presentes no solo que degradam moléculas maiores através de alterações físico-químicas e/ou enzimáticas na estrutura dos polímeros (Malekzadeh *et at.*, 2023). Em seguida, os microrganismos utilizam os fragmentos como fonte de energia para a execução das suas atividades fisiológicas, gerando água, metano, CO₂, dentre outros produtos metabólicos (Kabir *et al.*, 2020).

Ao observar a figura, notou-se que os filmes avaliados sofreram modificações em sua aparência inicial a partir da primeira semana de enterramento, apresentando superfícies enrugadas e mais ásperas, o que indica possivelmente o início da biodegradação pela ação de microrganismos presentes no solo (Deshmukh *et al.*, 2021). De acordo com Pires *et al.* (2022), cada polímero biodegradável tem sua forma de se decompor que varia de acordo com características próprias como estrutura química, cristalinidade, área superficial, peso molecular e ligações químicas, além de fatores do ambiente como umidade, pH, temperatura e tipos de microrganismos presentes no solo.

Figura 14 - Aspecto dos filmes durante o processo de biodegradação



Fonte: a autora (2024).

O filme sem adição de extrato (E00) apresentou decomposição total da segunda para a terceira semana de análise (sem fotos nas semanas 3 e 4), enquanto que os filmes com extrato demonstraram maior degradação a partir da semana 4. Também observou-se que os filmes com menos extrato se degradaram mais rápido do que o filme 003. Uma justificativa para que isso tenha ocorrido é que a composição química do extrato tornou a superfície dos filmes mais hidrofóbicas e, conseqüentemente, reduziu a absorção de água, dificultando a ação dos microrganismos que provavelmente estão presentes no solo, na biodegradação (Mustapha *et al.*, 2019).

A natureza biodegradável dos filmes sintetizados, a qual foi comprovada durante esta análise, justifica-se pela composição da sua matriz polimérica (Mustapha *et al.*, 2019). No caso do

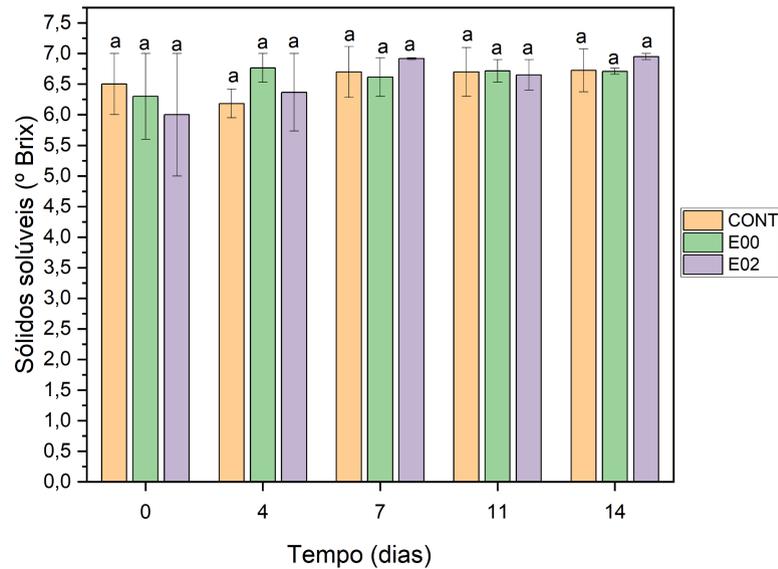
filme contendo apenas quitosana e amido a rápida biodegradação pode ser devido ao caráter biodegradável da quitosana, bem como a ação de enzimas na fécula, como as amilases e as glicosidases, que catalisam a hidrólise de ligações glicosídicas favorecendo a degradação deste carboidrato (Polman *et al.*, 2021).

5.10. Aplicação dos filmes na conservação de melão minimamente processado

Para a aplicação na conservação de melão minimamente processado, foi selecionado o filme E02 (contendo amido, quitosana e 10% de extrato) e para fins de comparação o filme sem extrato. Apesar da formulação com maior adição de extrato ter apresentado maior atividade antioxidante e antibacteriana (formulação E03), durante as análises de caracterização foi notado que a adição aumentada da concentração de extrato à matriz polimérica deixou os filmes mais rígidos e quebradiços, o que limitou a sua utilização. Desta forma, optou-se por utilizar o filme contendo 10% de extrato, o qual demonstrou taxas de inibição de crescimento bacteriano próximas às obtidas com a formulação E03 contendo maior concentração de extrato.

O teor de sólidos solúveis totais (SST) é um dos parâmetros que indica o grau de maturação da fruta (Singh *et al.*, 2023). De acordo com a análise estatística os parâmetros tipos de filmes e o tempo não foram significativos ($p > 0,05$), ou seja o °Brix dos melões minimamente processados contendo os filmes com e sem extrato não variou significativamente durante 14 dias de estocagem à 5°C. Chevalier *et al.* (2016) obtiveram resultados opostos em melão minimamente processado revestidos com coberturas comestíveis de quitosana e óleo de cravo onde os frutos analisados apresentaram teores de sólidos solúveis crescentes do primeiro dia ao último de experimento. Não foram encontrados na literatura relatos sobre efeito de filmes em melões minimamente processados.

Figura 15 - Teor de Sólidos Solúveis Totais (° Brix) dos melões minimamente processados com e sem filmes durante 14 dias de armazenamento à 5 °C



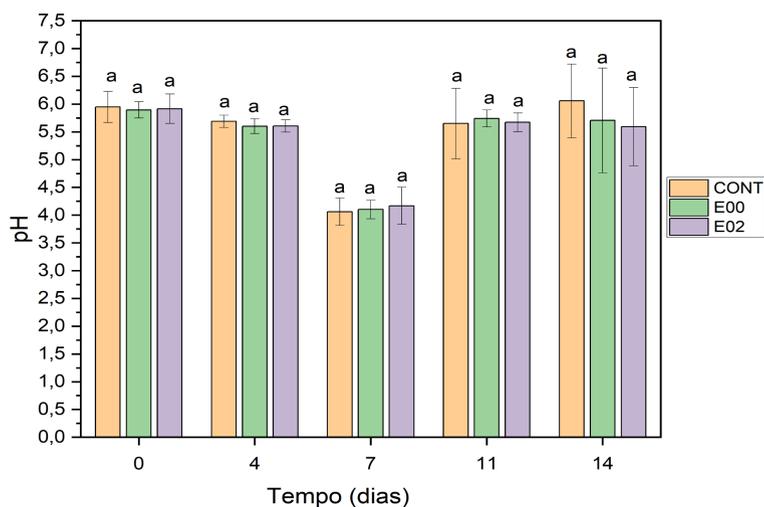
Fonte: a autora (2024).

Nas frutas, a acidez justifica-se pela presença de ácidos orgânicos dissolvidos nos vacúolos das células vegetais. Ao longo do período de armazenamento, é possível que haja a utilização desses ácidos como substrato para respiração dos vegetais ou convertidos em carboidratos, acarretando no aumento de pH (Brody, 1996; Moraes *et al.*, 2012) e diminuição da acidez, entretanto, também é possível observar o comportamento contrário. Neste caso, o aumento da acidez e diminuição do pH em alimentos pode estar ligado ao desenvolvimento microbiano, uma vez que ao se desenvolverem, algumas bactérias produzem ácidos como um dos produtos do seu metabolismo (Freire *et al.*, 2021).

Os tipos de filmes e o tempo de armazenamento não influenciaram o pH dos melões, os valores não diferiram estatisticamente entre si ($p > 0,05$) (Figura 16). Resultado semelhante foi observado por Lamikanra *et al.* (2000) ao avaliarem melão minimamente processado sob refrigeração por 14 dias. Em relação a acidez total do fruto analisado, verificou-se que apenas o tempo de armazenamento influenciou este parâmetro, sendo os menores valores obtidos em 11 dias de estocagem, diferindo estatisticamente dos demais ($p > 0,05$) (Figura 17). Embora o menor teor de acidez titulável obtido tenha sido verificado no 11º e não no 14º dia como esperado, a redução da acidez de frutas ao longo do seu período de armazenamento é explicada pelo seu amadurecimento que acarreta na utilização dos ácidos para a conversão de açúcares (Magri *et al.*, 2024). Pizarro *et al.* (2006) com o intuito de verificar a qualidade de melões minimamente processados mantidos por 15 dias sob diferentes temperaturas de 4 °C e 10 °C e embalagens (tereftalato de poliestireno ou

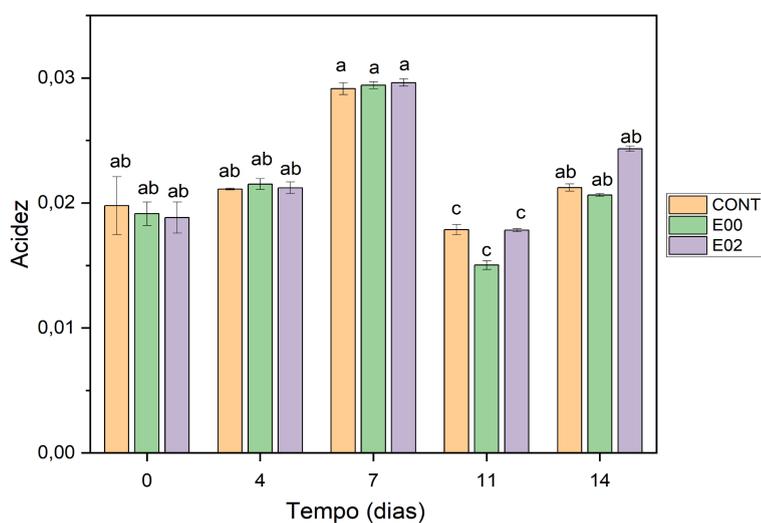
bandeja de poliestireno), os autores constataram que a acidez dos frutos se manteve estável durante o tempo de análise.

Figura 16 - pH dos melões minimamente processados com e sem filmes durante 14 dias de armazenamento à 5 °C.



Fonte: a autora (2024)

Figura 17 - Acidez (%) dos melões minimamente processados com e sem filmes durante 14 dias de armazenamento à 5 °C



Fonte: a autora (2024).

A cor dos melões minimamente processados foi analisada visualmente durante o tempo de armazenamento (Figura 18). Observou-se um ligeiro escurecimento nos frutos dos três tratamentos

a partir do 7º dia de armazenagem, principalmente nos melões com o filme adicionado com o extrato da semente de jatobá. O escurecimento de frutas, apesar de indesejado do ponto de vista organoléptico, é um processo natural o qual ocorre pela ação de enzimas como as polifenoloxidasas, entretanto, frutos mantidos sob baixas temperaturas (como as de refrigeração) podem ter sua atividade enzimática reduzida e, conseqüentemente, a sua mudança de cor (Arruda *et al.*, 2003). Em seu trabalho sobre a síntese e aplicação de filmes fibrosos para a conservação de maçãs minimamente processadas, Shen *et al.* (2024) observaram o escurecimento gradativo das frutas revestidas durante o tempo de armazenamento. Os melões com os filmes com extrato estavam levemente mais escuros que os melões com o filme sem extrato e os do grupo controle, provavelmente devido a transferência de pigmentos dos filmes para os frutos durante a estocagem.

Figura 18- Cor dos melões minimamente processados com e sem filmes durante 14 dias de armazenamento à 5 °C

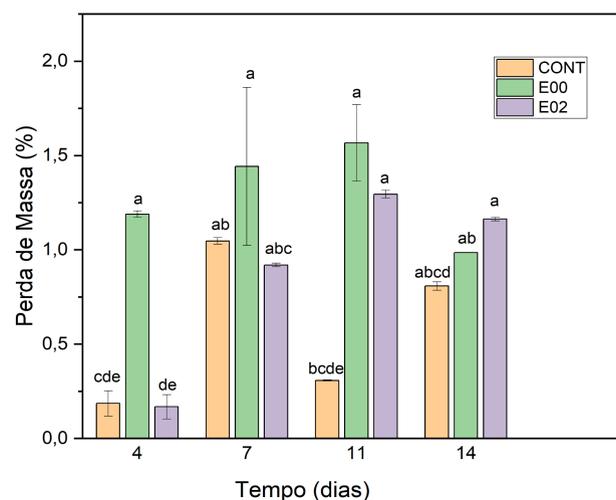


Fonte: a autora (2024).

A perda de massa é um comportamento natural que ocorre com vegetais ao longo do seu amadurecimento incentivado por diversos processos bioquímicos após o momento em que são colhidos e isso afeta na qualidade dos alimentos, uma vez que a perda de água deixa os vegetais

mais susceptíveis às injúrias mecânicas durante o transporte e armazenamento e a proliferação de microrganismos, afetando também nas suas características organolépticas, principalmente nos frutos climatéricos (Abdi *et al.*, 1998). Para a perda de massa a interação entre os filmes e o tempo de estocagem e os parâmetros isolados foram significados ($p \leq 0,05$). Como consequência, o teste de tukey foi realizado considerando o fator interação entre os parâmetros. Os resultados indicaram que a maior perda de massa ocorreu nos melões com filme contendo 5% de extrato a partir de 4 dias de estocagem ($p > 0,05$). Em 11 dias de estocagem os filmes com e sem extrato demonstraram maiores perdas de massa do que a amostra controle. Os melões controle foram os que demonstraram os menores valores de perda de massa ao longo do tempo, resultado oposto à maioria dos trabalhos onde as frutas com filmes demonstram menores perdas de massa do que as amostras controle como o estudo de Silva *et al.* (2018) que, ao revestirem goiabas com filmes de quitosana incorporados com extrato da casca de tamarindo, constataram que os frutos revestidos apresentaram menor perda de massa quando estes foram comparados aos frutos do grupo controle. Jacobs *et al.* (2020) ao revestirem pêras com filmes de amido e polpa de acerola, constataram que os frutos recobertos com os filmes de amido de mandioca incorporados com 20% e 40% de polpa de acerola sofreram maior perda de massa do que os frutos com filme sem adição da polpa, porém essa perda foi menor do que os das frutas sem filmes. A maior perda de massa verificada nos frutos revestidos pode estar ligada ao caráter higroscópico dos filmes obtidos a partir da mistura de amido e quitosana por potencializarem, através da superfície de contato, a perda de água contida nos melões minimamente processados (Oliveira *et al.*, 2011).

Figura 19 - Perda de massa (%) dos melões minimamente processados com e sem filmes durante 14 dias de armazenamento à 5 °C.



Fonte: a autora (2024).

5.10.1. Contagem de bactérias aeróbias mesófilas e de bolores e leveduras

A contagem de microrganismos é imprescindível quando se trata de produtos destinados ao consumo, uma vez que estes podem indicar a qualidade higiênico-sanitária dos alimentos (Singh *et al.*, 2023).

Ao observar a Tabela 10, verificou-se que as contagens de bactérias totais variaram entre 3,50 e 5,37 log UFC/g de bolores e leveduras entre 2,96 e 4,56 log UFC/g. Os melões revestidos com os filmes demonstraram menores contagens de bactérias totais ao longo da estocagem. No último dia houve uma redução de quase de 2 Log nos melões com o filme contendo o extrato quando comparado aos melões controle. Resultado semelhante foi obtido por Wang *et al.* (2024) que ao analisarem do ponto de vista microbiológico, fatias de carpas frescas embaladas com filmes de quitosana incorporados ou não com extrato da casca de pinheiro, obtiveram menores contagens de bactérias totais nas amostras contendo os filmes com extrato. De acordo com os autores, a maior eficiência destes filmes pode ser explicada devido aos terpenos presentes no extrato, fitoquímicos com ação bactericida que atuam decompondo os lipídios e proteínas da membrana das células bacterianas, os quais também podem ser encontrados no extrato da semente jatobá. A presença de terpenóides nas sementes de casca do fruto do jatobá também foram associados por Scaramussa *et al.* (2022) como sendo os principais responsáveis pela ação antimicrobiana do extrato obtido a partir desses resíduos.

Em relação aos bolores e leveduras, os dados obtidos demonstraram que não houve influência dos tratamentos nem do período de armazenamento no número desses microrganismos ($p \leq 0,05$) para os melões com filme contendo ou não extrato. As contagens foram mantidas na ordem de 3,0 Log a 4,0 Log. No Brasil ainda não há uma legislação específica que determine os parâmetros microbiológicos de alimentos minimamente processados para bactérias aeróbias mesófilas e bolores e leveduras, entretanto, países como Alemanha e Japão limitam os valores de 7,7 Log UFC/g e <5,0 Log UFC/g, respectivamente, para bactérias totais mesófilas, porém não foram encontrados nenhum relato acerca da contagem máxima para bolores e leveduras (Santos *et al.*, 2010). De acordo com Beuchat (1998), as bactérias mesófilas encontradas em frutas e outros vegetais são provenientes da própria matéria-prima e geralmente, encontra-se entre 4,0 e 6,0 Log UFC/g.

Tabela 10- Contagem de mesófilos aeróbios e bolores e leveduras dos melões minimamente processados com filmes com e sem extratos durante 14 dias de estocagem à 5 °C

Microrganismo	Dias	Contagens (Log UFC/g)		
		Controle	E00	E02
Bactérias aeróbias mesófilas	0	4,38 ± 0,16 ^a	4,40 ± 0,14 ^{ab}	4,27 ± 0,04 ^c
	4	4,23 ± 0,13 ^a	4,12 ± 0,03 ^{ab}	4,14 ± 0,06 ^c
	7	5,37 ± 0,73 ^a	4,61 ± 0,44 ^{ab}	4,28 ± 0,40 ^c
	11	4,67 ± 0,17 ^a	4,56 ± 0,01 ^{ab}	3,50 ± 0,33 ^c
	14	5,29 ± 0,4 ^a	4,35 ± 0,29 ^{ab}	3,70 ± 0,5 ^c
Bolores e leveduras	0	3,97 ± 0,41 ^a	4,04 ± 0,06 ^a	4,13 ± 0,18 ^a
	4	4,36 ± 0,06 ^a	4,33 ± 0,08 ^a	4,05 ± 0,30 ^a
	7	4,56 ± 0,78 ^a	4,12 ± 0,68 ^a	4,01 ± 0,63 ^a
	11	3,92 ± 0,83 ^a	3,75 ± 0,76 ^a	3,28 ± 0,42 ^a
	14	3,99 ± 0,50 ^a	3,45 ± 0,49 ^a	2,96 ± 0,59 ^a

Média ± Desvio Padrão.

Letras minúsculas iguais na mesma linha indicam que não houve diferença significativa entre os filmes ($p \leq 0,05$) pelo Teste de Tukey.

Fonte: a autora (2024).

6. CONCLUSÕES

Diferentes formulações de filmes de quitosana, amido do caroço de abacate, extrato etanólico de sementes de jatobá e glicerol foram eficientemente elaboradas. O extrato da semente de jatobá apresentou teores significativos de compostos fenólicos, o quais demonstraram potencial para inibir a atividade bacteriana e captar radicais livres.

O amido extraído do caroço de abacate em sinergia com a quitosana apresentou viabilidade para compor biopolímeros transparentes e maleáveis em todas as formulações testadas. A incorporação de concentrações aumentadas de extrato à matriz polimérica dos filmes exerceu forte influência nas propriedades dos biopolímeros. Foi observado o aumento da estabilidade térmica dos filmes, da atividade antioxidante e antibacteriana, e a redução das taxas de umidade e solubilidade em água, propriedades importantes quando trata-se de embalagens bioativas. Todos os filmes apresentaram rápida biodegradabilidade em solo fértil nas condições testadas, contudo, os filmes

com extrato da semente do jatobá exigiram um tempo um pouco maior quando comparados ao filme sem extrato.

O filme com 15% de extrato (E03) apesar de ter demonstrado a atividade antimicrobiana frente a um maior número de cepas quando comparado às demais formulações, sua estrutura menos flexível limitou a aplicação para a conservação dos melões minimamente processados, sendo mais adequado a aplicação do filme E02 contendo 10% de extrato, uma vez que este demonstrou potencial de inibição bacteriana semelhante.

A aplicação de filmes E02 e sem extrato, não alterou o teor de sólidos solúveis e o pH e não influenciou a acidez dos melões minimamente processados durante a estocagem à 5 °C por 14 dias. No entanto, o filme com extrato demonstrou excelente potencial para a redução de bactérias aeróbias mesófilas em até 1 Log a carga e controlou o crescimento de bolores e leveduras durante o período de estocagem.

Tais resultados demonstraram que os filmes biodegradáveis constituídos de amido do caroço de abacate e quitosana com ou sem adição de 10% de extrato da semente de jatobá apresentaram potencial para serem utilizados como embalagens bioativas antimicrobianas para a conservação de melão minimamente processado. Pesquisas futuras podem ser realizadas com o intuito de explorar o mesmo potencial verificado neste estudo na conservação de outros tipos de alimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI, N.; MCGLASSON, B. W.; HOLFORD, P.; WILLIAMS, M.; MIZRAHI, Y. Responses of climacteric and suppressed-climacteric plums to treatment with propylene and 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, v. 14, n. 1, p. 29-39, 1998.

AGARWAL, N.; JYOTI; THAKUR, M.; MISHRA, B. B.; SINGH, S. P. Preparation and characterization of biodegradable films based on levan polysaccharide blended with gellan gum. **Environmental Technology & Innovation**, p. 103231, 2023.

AGUIRRE-LOREDO, R. Y.; FONSECA-GARCIA, A.; CALAMBAS, H. L.; SALAZAR-ARANGO, A.; CAICEDO, C. Improvements of thermal and mechanical properties of achira starch/chitosan/clay nanocomposite films. **Heliyon**, v. 9, n. 6, 2023.

ALEMU, N.; BALAKRISHNAN, S.; DEBTERA, B.. Extraction and Characterisation of Avocado Seed Starch, and Its Blend with Enset Cellulosic. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2022, 2022.

- ALIMI, B. A.; HOQUE, M.; PATHANIA, S.; WILSON, J.; DUFFY, B.; FRIAS, J. M. C. Structural, thermal, optical, and mechanical properties of composite films developed from the button mushroom (*Agaricus bisporus*)-sourced high molecular weight chitosan and potato starch. **LWT**, v. 185, p. 115201, 2023.
- ALVES-SILVA, G. F.; ROMANI, V. P.; MARTINS, V. G. Jatobá (*Hymenaea stigonocarpa*) pulp films: Properties, antioxidant potential and biodegradability. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 34, p. 100923, 2022.
- AMANKWAAH, C.; LI, J.; LEE, J.; PASCALL, M. A. Antimicrobial activity of chitosan-based films enriched with green tea extracts on murine norovirus, *Escherichia coli*, and *Listeria innocua*. **International Journal of Food Science**, v. 2020, 2020.
- AMELIA, S. T. W.; ADININGSIH, S. N.; WIDIYASTUTI, W.; NURTONO, T.; SETYAWAN, H.; PANATARANI, C.; PRASEPTIANGGA, D.; NAZIR, N.; SYAMANI, F. A. Novel cross-linking of toxic-free biopolymers for cellulose-gelatin films from avocado seed waste. **Bioresource Technology Reports**, v. 25, p. 101725, 2024.
- ANAYA-GIL, J.; RAMOS-MORALES, P.; MUÑOZ-HERNANDEZ, A.; BERMÚDEZ, A.; GOMEZ-ESTRADA, H. In vivo evaluation of the toxic activity and genotoxicity of the *Hymenaea courbaril* L.'s resin in *Drosophila melanogaster*. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 29, n. 1, p. 480-488, 2022.
- ANAND, R.; KUMAR, A. Significant biopolymers and their applications in buccal mediated drug delivery. **J Biomater Sci Polym Ed.**, 2021.
- AOAC (Official methods of analysis of AOAC International), vols. I and II, 19th ed., ed Latimer GW, Jr. AOAC International, Gaithersburg, p 930.15, 2012.
- ARNOSO, B. J. de M.; COSTA, G. F. da; SCHMIDT, B. Biodisponibilidade e classificação de compostos fenólicos. **Nutrição Brasil**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 39, 2019.
- AROOJ, A.; KHAN, M.; MUNAWAR, K. S. Preparation and physicochemical characterization of starch/pectin and chitosan blend bioplastic films as future food packaging materials. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 12, n. 1, p. 111825, 2024.
- ARRUDA, M. C.; JACOMINO, A. P.; SARANTÓUPOLOS, C. I. G. L.; MORETTI, C. L. Qualidade de melão minimamente processado armazenado em atmosfera modificada passiva. **Horticultura Brasileira**, v. 21, p. 655-659, 2003.
- ATHAYDES, B. R.; TOSTA, C.; CARMINATI, R. Z.; KUSTER, R. M.; KITAGAWA, R. R.; GONÇALVES, R. C. R. Avocado (*Persea americana* Mill.) seeds compounds affect *Helicobacter pylori* infection and gastric adenocarcinoma cells growth, **Journal of Functional Foods**, v. 99, 2022.
- ATLAR, G. C.; KUTLU, G.; TORNUK, F. Design and characterization of chitosan-based films incorporated with summer savory (*Satureja hortensis* L.) essential oil for active packaging. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 254, p. 127732, 2023.

BANGAR, S. P.; DUNNO, K.; DHULL, S. B.; SIROHA, A. K.; CHANGAN, S.; MAQSOOD, S.; RUSU, A. V. Avocado seed discoveries: Chemical composition, biological properties, and industrial food applications. **Food Chemistry**: X, p. 100507, 2022.

BARADA, K.; HIDEAKI, H.; SHINSUKE, I.; HIDEAKI, H.; HIROYUKI, A.; TAIJI, N.; KEISUKE, S.; HIDEAKI, H.; KEISUKE, S.; YOSHIO, Y.; TAKASHI, I. Trends in the gentamicin and arbekacin susceptibility of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* and the genes encoding aminoglycoside-modifying enzymes. **Journal of infection and chemotherapy**, v. 13, n. 2, p. 74-78, 2007.

BASTOS, M.; ALVES, R. E. Orientações gerais para o processamento mínimo de melão cantaloupe. **Embrapa Agroindústria Tropical. Comunicado Técnico**, v. 101, 2004.

BERTOLO, M. R. V.; DIAS, L. D.; OLIVEIRA FILHO, J. G.; MARANGON, C. A.; MARTINS, V. C. A.; FERREIRA, M. D.; BAGNATO, V. S.; PLEPIS, A. M. G.; BOGUSZ JUNIOR, S. Central composite design optimization of active and physical properties of food packaging films based on chitosan/ gelatin/pomegranate peel extract. **SSRN Electron J** 34:100986, 2022.

BEUCHAT, L. R. Surface decontamination of fruits and vegetables eaten raw: a review. Geneva: Food Safety Unit, **World Health Organization**, 1998.

BHATT, SHIVANSH; JOSHI, PARAS; ARORA, SHUBHANGI; KUMAR, VINOD; AHMAD, WASEEM; HUSSAIM, AFZAL; DOBHAL, ANKITA; SINGH, NARDEV; KUMAR, SANJAY. Synergistic impact of rotary vacuum evaporator-based conventional and microwave heating treatments on the quality characteristics of *Cucumis melo* juice. **Journal of Stored Products Research**, v. 106, p. 102305, 2024.

BHATIA, S.; SHAH, Y. A.; AL-HARRASI, A.; ALHADHRAMI, A. S.; ALHASHMI, D. S. H.; JAWAD, M.; DIBLAN, S.; DAWERY, S. K. H. A.; ESATBEYOGLU, T.; ANWER, M. K.; KOCA, E.; AYDEMIR, L. H. Characterization of biodegradable films based on guar gum and calcium caseinate incorporated with clary sage oil: Rheological, physicochemical, antioxidant, and antimicrobial properties. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 15, p. 100948, 2024.

BHUIMBAR, M.; BHAGWAT, P. K.; DANDGE, P. B. Extraction and characterization of acid soluble collagen from fish waste: Development of collagen-chitosan blend as food packaging film. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, n. 2, p. 102983, 2019.

BHUYAN, D. J.; ALSHERBINY, M. A.; PERERA, S.; LOW, M.; BASU, A.; DEVO, O. A.; BAROOAH, M. S.; LI, C. G.; PAPOUTSIS, K. The Odyssey of Bioactive Compounds in Avocado (*Persea americana*) and Their Health Benefits. **Antioxidants (Basel)**, Sep 24;8(10):426, 2019.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, p. 911-917, 1959.

BONIFACE, P. K.; FERREIRA, S. B.; KAISER, C. R. Current state of knowledge on the traditional uses, phytochemistry, and pharmacology of the genus *Hymenaea*. **Journal of Ethnopharmacology** 206: 193–223, 2017.

BOTEZATU, A. V. D.; APETREI, R. M.; COSTEA, I. F.; BARBU, V.; GRIGORE-GURGU, L.; BOTEZ, F.; DINICA, R. M.; FURDUI, B.; CÂRÂC, G. Synthesis and characterization of novel

chitosan derivatives (containing dipyridinium quaternary salts) with antimicrobial potential. **Carbohydrate Research**, v. 534, p. 108964, 2023.

BREDA, C. A.; MORGADO, D. L.; ASSIS, O. B. G.; DUARTE, M. C. T. Processing and characterization of chitosan films with incorporation of ethanolic extract from “pequi” peels. **Macromol. Res.** 2, p. 1049–1056, 2017.

BRODY, A. L. **Envasado de alimentos em atmosferas controladas, modificadas y vazio**. Zaragoza: Acribia, 230 p. 1996.

CABRERA-BARJAS, G.; ALBORNOZ, K.; BELCHI, M. D. L.; GIORDANO, A.; BRAVO-ARREPOL, G.; MAYA-ELIZONDO, G.; MARTIN, J. S.; VALDES, O.; NESIC, A. Influence of chitin nanofibers and gallic acid on physical-chemical and biological performances of chitosan-based films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 263, p. 130159, 2024.

CAMPAGNER, M. R.; DA SILVA MORIS, V. A.; PITOMBO, L. M.; DO CARMO, J. B.; DE PAIVA, J. M. F. Polymeric films based on starch and lignosulfonates: Preparation, properties and evaluation of biodegradation. **Polimeros** 24:740–751, 2014.

CAPAR, T. D. Characterization of sodium alginate-based biodegradable edible film incorporated with *Vitis vinifera* leaf extract: Nano-scaled by ultrasound-assisted technology. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 37, p. 101068, 2023.

CASALINI, S.; BASCHETTI, M. G. The use of essential oils in chitosan or cellulose-based materials for the production of active food packaging solutions: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 103, n. 3, p. 1021-1041, 2023.

CHEVALIER, R. C.; SILVA, G. G.; SILVA, D. M.; PIZATO, S.; CORTEZ-VEGA, W. R. Utilização de revestimento comestível à base de quitosana para aumentar a vida útil de melão minimamente processado. **Journal of bioenergy and food science**, v. 3, n. 3, p. 130-138, 2016.

CHEN, Y.; GU, S.; CHEN, Y.; LU, H.; SHI, D.; GUO, J.; WU, W. R.; YANG, W.; LI, Y.; XU, K. J.; DING, C.; LUO, R.; HUANG, C.; YU, L.; XU, M.; YI, P.; LIU, J.; TAO, J. J.; ZHANG, H.; LV, L.; WANG, B.; SHENG, J.; LI, L. Six-month follow-up of gut microbiota richness in patients with COVID-19. **Gut**, 71(1):222-225, 2022.

CHEN, F.; ZHOU, B.; YANG, L.; ZHUANG, J.; CHEN, X. Assessing the risk of *E. coli* contamination from manure application in Chinese farmland by integrating machine learning and Phydrus. **Environmental Pollution**, p. 124345, 2024.

CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute). **Methods for Dilution Antimicrobial Susceptibility Tests for Bacteria That Grow Aerobically**, tenth edition. Approved Standard, Document M07–A10, Pennsylvania, pp. 1987–1898, 2015.

CREMONEZ, P. A.; TELEKEN, J. G.; MEIER, T. R. W.; ALVES, H. J. Two-Stage anaerobic digestion in agroindustrial waste treatment: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 281, p. 111854, 2021.

CRIZEL, T. M.; RIOS, A. O.; ALVES, V. D.; BANDARRA, N.; MARTINS, M. M.; FLÔRES, S. H.. Active food packaging prepared with chitosan and olive pomace. **Food Hydrocolloids**, v. 74, p. 139-150, 2018.

DA CRUZ, J. E. R.; GUIMARÃES, I. I. S. M.; ALMEIDA, K. C.; AMÂNCIO, N. F. G. Antifungal and antibacterial activities of the medicinal plant Jatobá (*Hymenea courbaril* Linneaus) occurring in the Brazilian cerrado: a review. **Research, Society and Development**, vol. 12, no. 1, p. e22612139812-e22612139812, 2023.

DATTA, D.; HALDER, G.. Effect of media on degradability, physico-mechanical and optical properties of synthesized polyolefinic and PLA film in comparison with casted potato/corn starch biofilm. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 124, p. 39-62, 2019.

DE DIOS-AVILA, N.; TIRADO-GALLEGOS, J. M.; RIOS-VELASCO, C.; LUNA-ESQUIVEL, G.; ISIODIA-AQUINO, G.; ZAMUDIO-FLORES, P. B.; ESTRADA-VIRGEM, M. O.; CAMBERO-CAMPOS, O. J. Physicochemical, Structural, Thermal and Rheological Properties of Flour and Starch Isolated from Avocado Seeds of Landrace and Hass Cultivars. **Molecules**, v. 27, n. 3, p. 910, 2022.

DESHMUKH, A. R.; ALOUI, H.; KHOMLAEM, C.; NEJI, A.; YUN, J. H.; KIM, H. S.; KIM, B. S. Biodegradable films based on chitosan and defatted *Chlorella* biomass: Functional and physical characterization. **Food Chemistry**, v. 337, p. 127777, 2021.

DIAS, L. S.; LUZIA, D. M. M.; JORGE, N. Physicochemical and bioactive properties of *Hymenaea courbaril* L. pulp and seed lipid fraction. **Industrial Crops and Products**, v. 49, p. 610-618, 2013.

EUROPEAN BIOPLASTICS. Continued growth: global production capacities of bioplastics 2022-2027. 2022. Disponível em: <<https://www.european-bioplastics.org/>>. Acesso em: 12 de junho de 2024.

FIRDAUS, S.; AHMAD, F.; ZAIDI, S.. Preparation and characterization of biodegradable food packaging films using lemon peel pectin and chitosan incorporated with neem leaf extract and its application on apricot fruit. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 263, p. 130358, 2024.

FLÓREZ, M.; CAZÓN, P.; VÁZQUEZ, M. Characterization of active films of chitosan containing nettle *Urtica dioica* L. extract: Spectral and water properties, microstructure, and antioxidant activity. **Int J Biol Macromol**. 2023.

FREIRE, T. T.; TOLENTINO, A. L.; FERREIRA, B. K. O.; SANTOS, T. M.. Bactérias ácido lácticas suas características e importância: revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. e513101119964-e513101119964, 2021.

GONTARD, N.; GUILBERT, S. Bio-packaging: technology and properties of edible and/or biodegradable material of agricultural origin. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.30, n.1, p.3- 15, 1996.

GONTARD, N.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. Edible wheat gluten films: influence of the main processes variables on films properties using response surface methodology. **Journal of Food Science**, v.57, n.1, p. 190-195, 1992.

GRESES, S.; TOMÁS-PEJÓ, E.; GÓNZALEZ-FERNÁNDEZ, C. Agroindustrial waste as a resource for volatile fatty acids production via anaerobic fermentation. **Bioresource Technology**, v. 297, 2020.

GRISALES-MEJÍA, J. F.; ÁLVAREZ-RIVERA, F.; TORRES-CASTAÑEDA, H. G.; ANDRADE-MAHECHA, M. M.; MARTÍNEZ-CORREA, H. A.; MENDIOLA, J. A.; CIFUENTES, A.; IBAÑEZ, E. Hass Avocado (*Persea americana* Mill.) residues as a new potential source of neuroprotective compounds using pressurized liquid extraction. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 204, p. 106117, 2024.

GUO, H.; JIANG, K.; OU, J.; HUANG, C.; LIU, F.; ZHENG, J.; OU, S. Preparation of acrolein/resveratrol-grafted chitosan-sodium alginate bilayer films and their antibacterial and antioxidant activities. **Food Hydrocolloids**, v. 149, p. 109601, 2024.

HARIDEVAMUTHU, B.; RAJ, D.; CHANDRAN, A.; MURUGAN, R.; SEETHARAMAN, S.; DHANARAJ, M.; ALMUTAIRI, B. O.; AROKIYARAJ, S.; AROCKIARAJ, J. Sustainable food packaging: Harnessing biowaste of Terminalia catappa L. for chitosan-based biodegradable active films for shrimp storage. **Carbohydrate Polymers**, v. 329, p. 121798, 2024.

HASIBUAN, P. A. Z.; YUANDANI; TANJUNG, M.; GEA, S.; PASARIBU, K. M.; HARAHAP, M.; PERANGIN-ANGIN, Y. A.; PRAYOGA, A.; GINTING, J. G. Antimicrobial and antihemolytic properties of a CNF/AgNP-chitosan film: A potential wound dressing material, **Heliyon**, v. 7, 2021.

HENRIQUE, C. M.; CEREDA, M. P.; SARMENTO, S. B. S. Características físicas de filmes biodegradáveis produzidos a partir de amidos modificados de mandioca. **Food Science and Technology**, v. 28, p. 231-240, 2008.

HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, M. A.; SUÁREZ-RODRÍGUEZ, L. M.; LÓPEZ-MEZA, J. F.; OCHOA-ZARZOSA, A.; SALGADO-GARCIGLIA, R.; FERNÁNDEZ-PAVIA, S. P.; LÓPEZ-GÓMEZ, R. Antifungal Activity of Avocado Seed Recombinant GASA/Snakin PaSn. **Antibiotics**, v. 11, n. 11, p. 1558, 2022.

HONG, F.; QIU, P.; WANG, Y.; REN, P.; LIU, J.; ZHAO, J.; GOU, D. Chitosan-based hydrogels: From preparation to applications, a review. **Food Chemistry**: X, p. 101095, 2023.

IAL. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. In. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. 3. São Paulo: IMESP, v.1, p. 42 – 43, 2008.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). Produção de abacate no Brasil, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/abacate/br>> . Acesso em: 18 de dezembro de 2023.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). Produção de melão, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/melao/rn>> . Acesso em: 18 de dezembro de 2023.

JACOBS, V.; SOUZA, F. S.; HAMM, J. B. S.; MANCILHA, F. S. Produção e caracterização de biofilmes de amido incorporados com polpa de acerola. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 21, n. 3, p. 107-119, 2020.

- JIAO, X.; WANG, N.; GUO, L.; GUO, GUO, Z.; HOU, X.; LU, Y.; YAO, B.; SUN, J.; LI, Y. Metabolomics profile of selenium-enriched *Bacillus subtilis* alleviating perfluorohexanoic acid-induced brain damage in *Carassius auratus* and its response to the intestinal microbial community. **Aquaculture**, v. 589, p. 740947, 2024.
- JIMENEZ, P.; GARCIA, P.; QUITRAL, V.; VASQUEZ, K.; PARRA-RUIZ, C.; REYES-FARIAS, M.; GARCIA-DIAZ, D. F.; ROBERT, P.; ENCINA, C.; SOTO-COVASICH, J. Pulp, leaf, peel and seed of avocado fruit: A review of bioactive compounds and healthy benefits. **Food Reviews International**, v. 37, n. 6, p. 619-655, 2021.
- KABIR, E.; KAUR, R.; LEE, J.; KIM, K. H.; KWON, E. E. Prospects of biopolymer technology as an alternative option for non-degradable plastics and sustainable management of plastic wastes. **Journal of Cleaner Production**, v. 258, p. 120536, 2020.
- KARKAR, B.; PATIR, I.; EYÜBOĞLU, S.; ŞAHİN, S. Development of an edible active chitosan film loaded with *Nigella sativa* L. extract to extend the shelf life of grapes. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 50, p. 102708, 2023.
- KHAN, M. R.; DI GIUSEPPE, F. A.; TORRIERI, L.; SADIQ, M. B. Recent advances in biopolymeric antioxidant films and coatings for preservation of nutritional quality of minimally processed fruits and vegetables. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 30, p. 100752, 2021.
- KHAN, S.; HASHIN, S. B. H.; ARSLAN, M.; ZHANG, K.; BILAL, M.; ZHIYANG, C.; ZHIHUA, L.; TAHIR, H. E.; ZHAI, X.; SHISHIR, M. R. I.; ZOU, X. Berry wax improves the physico-mechanical, thermal, water barrier properties and biodegradable potential of chitosan food packaging film. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 261, p. 129821, 2024.
- KIM, H.; SHIN, M. S.; JEON, H.; KOO, J. M.; EOM, Y.; CHOI, S.; SHIN, G.; OH, D. X.; HWANG, S. Y.; PARK, J. Highly reinforced poly (butylene succinate) nanocomposites prepared from chitosan nanowhiskers by in-situ polymerization. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 173, p. 128-135, 2021.
- KOUL, B.; YAKOUB, M.; SHAH, M. P. Agricultural waste management strategies for environmental sustainability, **Environmental Research**, v. 206, 2021.
- KUMAR, M. N. V. R. A review of chitin and chitosan applications. **Reactive and Functional Polymers**, v. 8, p. 1-27, 2000
- KUMAR, K.; UMAPATHI, R.; GHOREISHIAN, S. M.; TIWARI, J. N.; HWANG, S. K.; HUH, Y. S.; VENKATESU, P.; SHETTI, N. P.; AMINABHAVI, T. M. Microplastics and biobased polymers to combat plastics waste, **Chemosphere**, v. 341, 2021.
- LAMIKANRA, O.; CHEN, J.C.; BANKS, D. Biochemical and microbial changes during the storage of minimally processes cantaloupe. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 48, p. 5955-5961, 2000.
- LOOS, P. J.; HOOD, L. F.; GRAHAM, H. D. Isolation and characterization of starch from breadfruit. **Cereal Chemistry**, v. 58, n. 4, p. 282-286, 1981.

- LOPEZ, C. J.; CORRAL, M. F.; CARPENA, M.; OLIVEIRA, P. G.; ECHAVE, J.; PEREIRA, A. G. Valorization of agricultural waste as a source of antioxidant phenolic compounds in a circular and sustainable bioeconomy. **Food Funct**, 11, 4853- 4877, 2020.
- LOZANO-NAVARRO, J. I.; DÍAZ-ZAVALA, N. P.; VELASCO-SANTOS, D.; MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, A. L.; TIJERINA-RAMOS, B. I.; GARCÍA-HERNÁNDEZ, M.; RIVERA-ARMENTA, J. L.; PÁRAMO-GARCÍA, L.; REYES-DE LA TORRE, A. L. Antimicrobial, Optical and Mechanical Properties of Chitosan–Starch Films with Natural Extracts. **Int. J. Mol. Sci.** 2017.
- LUCENA, C. A. A.; COSTA, S. C.; ELEMEN, G. R. A.; MENDONÇA, E. A. M.; OLIVEIRA, E. E. Desenvolvimento de biofilmes à base de xilana e xilana/gelatina para produção de embalagens biodegradáveis. **Polímeros**, v. 27, p. 35-41, 2017.
- MA, M.; GU, M.; ZHANG, S.; YUAN, Y. Effect of tea polyphenols on chitosan packaging for food preservation: Physicochemical properties, bioactivity, and nutrition. **International Journal of Biological Macromolecules**, p. 129267, 2024.
- MACENA, J. F. F.; SOUZA, J. C. A.; CAMILLOTO, G. P.; CRUZ, R. S. Physico-chemical, morphological and technological properties of the avocado (*Persea americana* Mill. cv. Hass) seed starch. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, p. e001420, 2020.
- MAGRI, A.; LANDI, N.; CAPRIOLO, G.; DI MARO, A. Effect of active layer-by-layer edible coating on quality, biochemicals, and the antioxidant system in ready-to-eat ‘Williams’ pear fruit during cold storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 212, p. 112873, 2024.
- MALEKZADEH, E.; TATARI, A.; FIROUZABADI, M. D. Preparation, characteristics, and soil-biodegradable analysis of corn starch/nanofibrillated cellulose (CS/NFC) and corn starch/nanofibrillated lignocellulose (CS/NFLC) films. **Carbohydrate Polymers**, v. 309, p. 120699, 2023.
- MARTINS, S. H. F.; PONTES, K. V.; FIALHO, R. S.; FAKHOURI, F. M. Extraction and characterization of the starch present in the avocado seed (*Persea americana* Mill) for future applications, **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 8, 2022.
- MELGAR, B.; DIAS, M. I.; CIRIC, A.; SOKOVIC, M.; GARCIA-CASTELLO, E. M.; RODRIGUEZ-LOPEZ, A. D.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C. R. F. Bioactive characterization of *Persea americana* Mill. by-products: a rich source of inherent antioxidants. **Industrial Crops And Products**, v. 111, p. 212-218, Jan. 2018.
- MENEZES, F. L. G., LEITE, R. H. L., SANTOS, F. K. G., ARIA, A. I, AROUCHA, E. M. M. TiO₂-enhanced chitosan/cassava starch biofilms for sustainable food packaging. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**. v. 630, 12766, 2021.
- MERINO, D.; BERTOLACCI, L.; PAUL, U. C.; SIMONUTTI, R.; ATHANASSIOU, A. Avocado peels and seeds: processing strategies for the development of highly antioxidant bioplastic films. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v. 13, n. 32, p. 38688-38699, 2021.
- MONTOILLE, L.; VICENCIO, C. M.; FONTALBA, D.; ORTIZ, J. A.; MORENO-SERNA, R.; PEPONI, L.; MATIACEVICH, S.; ZAPATA, P. A. Study of the effect of the addition of plasticizers on the physical properties of biodegradable films based on kefirin for potential application as food packaging. **Food Chemistry**, v. 360, p. 129966, 2021.

- MORAES, K. S. de; FAGUNDES, C. MELO, M. C., ANDREANI, P.; MONTEIRO, A. R. Conservation of Williams pear using edible coating with alginate and carrageenan. **Food Science and Technology**, v. 32, p. 679-684, 2012.
- MORANDINI, L.; CAULIER, S.; BRAGARD, C.; MAHILLON, J. Bacillus cereus sensu lato antimicrobial arsenal: An overview. **Microbiological research**, p. 127697, 2024.
- MOUHOUB, A.; RAOUAN, S. E.; GUENDOOUZ, A.; ALAOUI-TALIBI, Z. E.; KORAICHI, S. I.; EL ABED, S.; DELATTRE, C.; EL MODAFAR, C. Inhibition of multi-species biofilm formation using chitosan-based film supplemented with essential oils. **European Polymer Journal**, v. 188, p. 111943, 2023.
- MOUHOUB, A.; GUENDOOUZ, A.; ALAOUI-TALIBI, Z. E.; KORAICHI, S. I.; RAOUAN, S. E.; DELATTRE, C.; EL MODAFAR, C. Preparation of bioactive film based on chitosan and essential oils mixture for enhanced preservation of food products. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 259, p. 129396, 2024.
- MTIBE, A.; MOTLOUNG, M. P.; BANDYOPADHYAY, J.; RAY, S. S. Synthetic Biopolymers and Their Composites: Advantages and Limitations-An Overview. **Macromol Rapid Commun**, 2021.
- MUSTAPHA, F. A; JAI, J.; RAIKHAN, N. H. N.; SHARIF, Z. I. M.; YUSOF, N. M.. Response surface methodology analysis towards biodegradability and antimicrobial activity of biopolymer film containing turmeric oil against *Aspergillus niger*. **Food Control**, v. 99, p. 106-113, 2019.
- NUNES, L. B.; SANTOS, W. J.; CRUZ, R. S. Extraction Yield and Chemical Characterization and Functional of cassava starch from the semi-arid region of Bahia. **Food Nutr.**, Araraquara, v.20, n.1, p. 129-134, Jan./Mar. 2009.
- OCHOA-ZARZOSA, A.; BÁEZ-MAGAÑA, M.; GUZMÁN-RODRÍGUEZ, J. J.; FLORES-ALVAREZ, L. J.; LARA-MÁRQUEZ, M.; ZAVALA-GUERRERO, B.; SALGADO-GARCIGLIA, R.; LÓPEZ-GÓMEZ, R.; LÓPEZ-MEZA, J. E. Moléculas bioativas do abacate nativo mexicano (*Persea americana* var *.drymifolia*): Uma revisão. **Alimentos Vegetais Hum Nutr** 76, 133–142, 2021.
- OLIVIERI, C. M. R.; FREITAS, R. A. M. S.; ARÊAS, J. A. G. Jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Mart.) pulp positively affects plasma and hepatic lipids and increases short-chain fatty acid production in hamsters fed a hypercholesterolemic diet. **Food Research International**, v. 175, p. 113766, 2024.
- OLIVEIRA, T. A.; LEITE, R. H. L.; AROUCHA, E. M. M.; FERREIRA, R. M. A. Efeito do revestimento de tomate com biofilme na aparência e na perda de massa durante o armazenamento. **Revista Verde**, v. 6, n.1, p. 230-234, 2011.
- OTHMAN, S. H.; SHAPI'I, R. A.; RONZI, N. D. A. Starch biopolymer films containing chitosan nanoparticles: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 329, p.121735, 2024.
- PINKU, C. N.; SHARMA, R.; DEBNATH, S.; NAYAK, P. K.; ROY, R.; SHARMA, M.; INBARAJ, B. R.; SRIDHAR, K. Recent advances in production of sustainable and biodegradable polymers from agro-food waste: Applications in tissue engineering and regenerative medicines. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 259, part 1, 2024.

- PIRES, J. B.; SANTOS, F. N.; DA CRUZ, E. P.; FONSECA, L. F.; SIEBENEICHLER, T. J.; LEMOS, G. S.; GANDRA, E. A.; ZAVAREZE, E. R.; DIAS, A. R. G. Starch extraction from avocado by-product and its use for encapsulation of ginger essential oil by electrospinning. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 254, part 1, 2024.
- PIZARRO, C. A. C.; BENEDETTI, B. C.; HAJ-ISA, N. M. A. Avaliação de melão minimamente processado armazenado em diferentes temperaturas e embalagens. **Food Science and Technology**, v. 26, p. 246-252, 2006.
- POLMAN, E. M. N.; GRUTER, G. J. M.; PARSONS, J. R.; TIETEMA, A. Comparison of the aerobic biodegradation of biopolymers and the corresponding bioplastics: A review. **Science of the Total Environment**, v. 753, p. 141953, 2021.
- PONCE, A. G.; FRITZ, R.; DEL VALLE, C.; ROURA, S. I. Antimicrobial activity of essential oils on the native microflora of organic Swisschard. **LWT- Food Science and Technology** 36: 679–684, 2003.
- RAMBABU, K.; BHARATH, G.; BANAT, F.; SHOW, P. L.; COCOLETZI, H. H. Mango leaf extract incorporated chitosan antioxidant film for active food packaging. **International Journal of Biological Macromolecules**, 126, 1234–1243, 2019.
- RAMESH, R.; PALANIVEL, H.; PRABHU, S. V.; TIZAZU, B. Z.; WOLDESEMAYAT, A. A. Process development for edible film preparation using avocado seed starch: response surface modeling and analysis for water-vapor permeability. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2021, p. 1-7, 2021.
- RANGANATHAN, S.; DUTTA, S.; MOSES, J. A.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Utilization of food waste streams for the production of biopolymers. **Heliyon**, 2020.
- RAYBAUDI-MASSILIA, R. M.; MELGAR-MOSQUEDA, J.; MARTIN-BELLOSO, O. Edible alginate-based coating as carrier of antimicrobials to improve shelf-life and safety of fresh-cut melon. **International Journal Food Microbiology**, v. 121, n. 3, p. 33-327, 2008.
- ROCHA, G. O.; FARIAS, M. G.; Filmes compostos biodegradáveis a base de amido de mandioca e proteína de soja. **Polímeros**, v. 24, p. 587-595, 2014.
- SABINO, G.; GADALETA, G.; GORRASI, G.; LA MANTIA, F. P.; NOTARNICOLA, M.; SORRENTINO, A. The role of (bio)degradability on the management of petrochemical and bio-based plastic waste. **Journal of Environmental Management**, v. 310, p. 114769, 2022.
- SAHU, A.; NAYAK, G.; BHUYAN, S. K.; BHUYAN, R.; KAR, D.; KUANAR, A. Antioxidant and antimicrobial activities of *Ocimum basilicum* var. *thyrsoflora* against some oral microbes. **Multidisciplinary Science Journal**, v. 6, n. 3, p. 2024026-2024026, 2024.
- SALAZAR-IRRAZABAL, M. D. S.; RAMIREZ-TIXE, E. E.; VELASQUEZ-BARRETO, F. F.; BELLO-PÉREZ, L. A. Avocado seed starch: Effect of the variety on molecular, physicochemical, and digestibility characteristics, **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 247, 2023.

- SANDÍ, A. M.; RAMÍREZ-GONZÁLEZ, A.; CASTILLO-HENRÍQUEZ, L.; LOPRETTI-CORREA, L.; VEGA-BAUDRIT, J. R. *Persea Americana* Agro-Industrial Waste Biorefinery for Sustainable High-Value-Added Products. **Polymers (Basel)**. 2021.
- SANTOS, T. B. A.; SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. A.; PEREIRA, J. L. Microrganismos indicadores em frutas e hortaliças minimamente processadas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 13, n. 2, p. 141-146, 2010.
- SCARAMUSSA, S. A. L.; SOARES, L. A.; SANTANA, L.C. L. A. Extracts from jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) peel and seeds: antioxidant and antimicrobial activities and synergistic effect of extract combinations. **Food Sci Technol Int**, 2022.
- SHAIKH, S.; YAKOUB, M.; AGGARWAL, P. An overview of biodegradable packaging in food industry. **Current Research in Food Science**, v. 4, p. 503-520, 2021.
- SHARMA, V.; TSAI, M. L.; NARGOTRA, P.; CHEN, C. W.; KUO, C. H.; SUN, P. P.; DONG, C. D. Agro-industrial food waste as a low-cost substrate for sustainable production of industrial enzymes: a critical review. **Catalysts**, v. 12, n. 11, p. 1373, 2022.
- SHETTY, K.; CURTIS, O. F.; LEVIN, R. E.; WITKOWLSKI, L.; ANG, W. Prevention of verification associated with in vitro shoot culture of oregano (*Origanum vulgare*) by *Pseudomonas spp.* **Journal of Plant Physiology**, 147: 447–451, 1995.
- SHI, D.; XU, W.; BALAN, P.; WONG, M. In Vitro Antioxidant Properties of New Zealand Hass Avocado Byproduct (Peel and Seed) Fractions. **ACS Food Science & Technology**, v. 1, n. 4, p. 579-587, 2021.
- SILVA-SILVA, T. P.; SILVA, A. A.; OLIVEIRA, C. M. D.; SOUZA, P. R.; SILVA-FILHO, E. C.; GARCIA, H. A.; COSTA, J. C. R.; SANTOS, F. E. P. Biosynthesis of Ag@ Au bimetallic nanoparticles from *Hymenaea courbaril* extract (Jatobá) and nonlinear optics properties. **Journal of Molecular Liquids**, v. 389, p. 122641, 2023.
- SILVA, W. B.; SILVA, G. M. C.; SANTANA, D. B.; SALVADOR, A. R.; MEDEIROS, D. B.; BELGHITH, I.; SILVA, N. M.; CORDEIROS, M. H. M.; MISOBUTSI, G. P. Chitosan delays ripening and ROS production in guava (*Psidium guajava* L.) fruit. **Food Chemistry**, v. 242, p. 232-238, 2018.
- SINGH, P.; KAUR, G.; SINGH, A.; DAR, B. N. Effect of montmorillonite and starch nanocrystals based biodegradable films loaded with lemongrass oil nanoemulsion on quality, enzymatic activity and shelf life of strawberry. **Food Chemistry Advances**, v. 3, p. 100343, 2023.
- SOARES, L. A.; SANTANA, L. C. L. A. Physicochemical Characterization, Antioxidant and Antimicrobial Potential of Biodegradable Chitosan-Based Films Containing *Pomegranate (Punica granatum L.)* Peel Extract. **J Polym Environ**, 2023.
- SOLEDAD, C. P. T.; PAOLA, H. C.; ENRIQUE, O. V. C.; ISRAEL, R. L. I.; VIRGINIA, N. M. G.; RAUL, A. S. Avocado seeds (*Persea americana* cv. *Criollo* sp.): Lipophilic compounds profile and biological activities, **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, 2021.
- SOTHORNVIT, R.; HONG, S. I.; AN, D. J.; RHIN, J. W. Effect of clay content on the physical and antimicrobial properties of whey protein isolate/organo-clay composite films. **LWT-Food Science and Technology**, v. 43, n. 2, p. 279-284, 2010.

- SUEIRO, A.C.; FARIA-TISCHER, P. C. S.; LONNI, A.A.S.G.; MALI, S. Filmes biodegradáveis de amido de mandioca, pululana e celulose bacteriana. **Quim Nova** 39:1059-1064, 2016.
- SUN, X.; JIA, P.; ZHE, T.; LIU, Y.; WANG, K.; WANG, L. Construction and multifunctionalization of chitosan-based three-phase nano-delivery system. **Food Hydrocolloids**, 96, 402–411, 2019.
- TEIXEIRA, R. F.; BALBINOT FILHO, C. A.; BORGES, C. D. Essential oils as natural antimicrobials for application in edible coatings for minimally processed apple and melon: A review on antimicrobial activity and characteristics of food models. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 31, p. 100781, 2022.
- TESFAYE, T.; GIBRIL, M.; SITHOLE, B.; RAMJUGERNATH, D. Valorisation of avocado seeds: extraction and characterisation of starch for textile applications. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 20, p. 2135-2154, 2018.
- THAKUR, R.; PRISTIJONO, P.; SCARLETT, C. J.; BOWYER, M.; SINGH, S. P.; VUONG, Q. V. Starch-based films: Major factors affecting their properties. **International journal of biological macromolecules**, v. 132, p. 1079-1089, 2019.
- TILWANI, T. M.; LAKRA, A. K.; DOMDI, L.; ARUL, V. Preparation and functional characterization of the bio-composite film based on chitosan/polyvinyl alcohol blended with bacterial exopolysaccharide EPS MC-5 having antioxidant activities, **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 245, 2023.
- TOOROP, M. M. A.; HOOGENDIJK, I. V.; DOGTEROM-BALLERING, H. C. M.; BOERS, S. A.; KRAAKMAN, M. E. M.; PREHN, J.; WESSELS, E.; BEKKER, V.; VELDKAMP, K. E. Implications of ad-hoc molecular typing for infection control measures in a multi-cluster, multi-phenotypic *Serratia marcescens* outbreak in a neonatal intensive care unit. *Journal of Hospital Infection*, v. 150, p. 26-33, 2024.
- UDAYAKUMAR, G. P.; MUTHUSAMY, M. S.; SELVAGANESH, B.; SIVARAJASEKAR, N. Ecofriendly biopolymers and composites: Preparation and their applications in water-treatment, **Biotechnology Advances**, v. 52, 2021.
- VARDANEGA, R.; FERREIRA, W. S.; VIGANÓ, J.; PRADO, J. M.; MORANO, R. S.; VEGGI, P. C. Exploring the economic viability of Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) bark extraction: A comparative study. **Separation and Purification Technology**, v. 350, p. 127946, 2024.
- WANG, J.; LI, Y.; JIN, Z.; CHENG, Y. Physicochemical, Morphological, and Functional Properties of Starches Isolated from Avocado Seeds, a Potential Source for Resistant Starch. **Biomolecules**, 12(8), 2022.
- WANG, J.; YUAN, Y.; LIU, Y.; LI, X.; WU, S.; Application of chitosan in fruit preservation: A review. **Food Chemistry**: X, p. 101589, 2024.
- YAASHIKAA, P. R.; KAMALESH, R.; KUMAR, P. S.; SARAVANAN, A.; VIJAYASRI, K.; RANGASAMY, G. Recent advances in edible coatings and their application in food packaging. **Food Research International**, v. 173, p. 113366, 2023.

YASUNAGA, Y.; ASO, Y.; YAMADA, K.; OKAHISA-KOBAYASHI, Y. Preparation of transparent fibroin nanofibril-reinforced chitosan films with high toughness and thermal resistance. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, v. 5, p. 100299, 2023.

ZHANG, W.; AZIZI-LALABADI, M.; JAFARZADEH, S.; JAFARI, S. M. Starch-gelatin blend films: A promising approach for high-performance degradable food packaging. **Carbohydrate polymers**, p. 121266, 2023.

ZHAO, X.; WANG, Y.; CHEN, X.; YU, X.; LI, W.; ZHANG, S.; MENG, X.; ZHAO, Z.; DONG, T.; ANDERSON, A.; AIYEDUN, A.; LI, Y.; WEBB, E.; WU, Z.; KUNC, V.; RAGAUSKAS, A.; OZCAN, S.; ZHU, H. Sustainable bioplastics derived from renewable natural resources for food packaging. **Matter**, v. 6, n. 1, p. 97-127, 2023.

ZOUNGRANAN, Y.; LYNDA, E.; DOBI-BRICE, K. K.; TCHIRIOUA, E. Influence of natural factors on the biodegradation of simple and composite bioplastics based on cassava starch and corn starch. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 8, n. 5, p. 104396, 2020.