

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
ENGENHARIA QUÍMICA**

ELIS REGINA CORREA BARRETO

**FILME BIOPOLIMÉRICO MULTICAMADA À BASE DE QUITOSANA
INCORPORADO COM COMPOSTOS BIOATIVOS DA CASCA DE JABUTICABA
(*Plinia cauliflora*)**

**Bagé
2021**

ELIS REGINA CORREA BARRETO

**FILME BIOPOLIMÉRICO MULTICAMADA À BASE DE QUITOSANA
INCORPORADO COM COMPOSTOS BIOATIVOS DA CASCA DE JABUTICABA
(*Plinia cauliflora*)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Gabriela Silveira da Rosa

Coorientadora: MSc. Luisa Bataglin Avila

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

B273f Barreto, Elis Regina Correa

Filme biopolimérico multicamada à base de quitosana incorporado com compostos bioativos da casca de jabuticaba (*Plinia cauliflora*) / Elis Regina Correa Barreto.

67 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)- Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA QUÍMICA, 2021.

"Orientação: Gabriela Silveira da Rosa; Coorientação: Luisa Bataglin Avila".

1. Extração por ultrassom. 2. Polissacarídeo. 3. Biopolímero. 4. Embalagem. 5. Atividade antioxidante.

ELIS REGINA CORREA BARRETO

**FILME BIOPOLIMÉRICO MULTICAMADA À BASE DE QUITOSANA
INCORPORADO COM COMPOSTOS BIOATIVOS DA CASCA DE JABUTICABA
(Plinia cauliflora)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Trabalho de Conclusão de Curso defendida e aprovada em: 08 de outubro de 2021.

Banca examinadora:

Prof. Dra. Gabriela Silveira da Rosa
Orientador
UNIPAMPA

MSc. Luisa Bataglin Avila
Coorientador
UFSM

Prof. Dr. Marcilio Machado Moraes
UNIPAMPA

Profa. Dra. Caroline Costa Moraes
UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **Luisa Bataglin Avila, Usuário Externo**, em 08/10/2021, às 15:11, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **GABRIELA SILVEIRA DA ROSA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 08/10/2021, às 15:26, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **CAROLINE COSTA MORAES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 08/10/2021, às 16:00, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MARCILIO MACHADO MORAIS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 08/10/2021, às 16:26, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0626329** e o código CRC **63E74424**.

Dedico este trabalho a minha mãe Liciane (*in memoriam*), que me ensinou como se reerguer diante das adversidades da vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a mim mesma, que lutei muito por essa conquista e nunca desisti. Minha trajetória nada fácil me tornou uma pessoa muito forte, resiliente e capaz de suportar qualquer coisa, por isso, hoje agradeço a mim mesma. Desde o início, sempre fui meu maior suporte para lidar com as nada fáceis situações que a vida me ofereceu e segui firme no meu caminho. Então, obrigada a mim mesma, por ser tão forte e capaz.

A minha mãe, que lá do céu está comemorando mais esta conquista, que sempre me desejou um futuro brilhante e de muita luz.

A toda a minha família que veio depois nessa caminhada da vida, mas durante toda a graduação me impulsionou e deu todo o suporte que nunca tive para alcançar todos os meus objetivos.

Aos meus amigos amados e brilhantes que estiveram comigo sempre que precisei, me proporcionaram tantos momentos felizes, me ajudaram a chegar até aqui e vou ter o prazer de levar por toda vida.

As minhas orientadoras, Prof^a. Dra. Gabriela Silveira da Rosa e MSc. Luisa Bataglin Avila, pela confiança, paciência e ensinamentos compartilhados durante boa parte da minha graduação e agora nesta fase final.

Aos professores do curso de Engenharia Química da Unipampa, por transmitirem seu saber com muito profissionalismo, principalmente, aqueles que sempre me trataram com tanta empatia e carinho.

Aos meus colegas de estágio, engenheiros, técnicos e funcionários, nossa família Meio Ambiente, que durante quase um ano compartilhei meus dias, me passaram tantos conhecimentos, experiências, risadas e momentos felizes.

E sou grata a Deus. Sua luz me indicou o caminho para o sucesso.

“É necessário ter o caos cá dentro
para gerar uma estrela”.

Friedrich Nietzsche

RESUMO

A fim de atender a demanda de embalagens para a indústria alimentícia, anualmente são produzidas milhares de toneladas de polímeros sintéticos. Apesar de suas muitas vantagens, a maioria desses polímeros é resistente à biodegradação, causando sérios problemas ambientais com seu descarte. Visto isso, as chamadas embalagens biodegradáveis à base de biopolímeros e extratos naturais ricos em compostos bioativos, apresentam-se como uma importante alternativa. Uma das frutas que apresenta um teor elevado de bioativos naturais é a jabuticaba, originária da região Centro-sul do Brasil, sua casca é considerada uma excelente fonte de antocianinas e com atividade antioxidante. Sendo assim, este trabalho objetivou o desenvolvimento de um filme biopolimérico multicamada à base de quitosana, incorporado com compostos bioativos da casca de jabuticaba, visando produzir uma embalagem ambientalmente amigável que tenha por função conter, proteger e prolongar a vida de prateleira dos alimentos. Os extratos da casca de jabuticaba contendo os compostos bioativos foram obtidos através da técnica de extração por ultrassom nas condições de 1 min e 88 °C, e apresentaram $89,83 \pm 0,05$ % de atividade antioxidante, $159,43 \pm 3,71$ mg GAE.g⁻¹ (b.s.) de compostos fenólicos totais e $2235,37 \pm 34,21$ mg.(100g)⁻¹ (b.s.) de antocianinas totais. Esses extratos foram incorporados à solução filmogênica contendo quitosana para o desenvolvimento dos filmes multicamada pelo método de *casting*. Os dados experimentais foram analisados pelo *software Statistica*, aplicando-se o teste t de Student para determinar diferenças ao nível de significância de 95%. Na caracterização dos filmes obteve-se uma variação de 63,5% na cor do filme, além de um aumento na espessura após a adição do extrato, em relação ao filme controle. A partir das análises mecânicas observou-se que a adição do extrato diminuiu a resistência à tração e aumentou o percentual de alongação. Através dos valores obtidos foi possível observar também que, a adição do extrato não interferiu na solubilidade do filme, entretanto, foi capaz de diminuir o índice de intumescimento do filme em aproximadamente 20%.

Palavras-Chave: Extração por ultrassom. Polissacarídeo. Biopolímero. Embalagem. Atividade antioxidante.

ABSTRACT

In order to meet the demand for packaging for the food industry, tons of synthetic polymers are produced annually. Despite their many advantages, most of these polymers are resistant to biodegradation, causing serious environmental problems with their disposal. In view of this, the so-called biodegradable packaging based on biopolymers and natural extracts rich in bioactive compounds, presents itself as an important alternative. One of the fruits with a high content of natural bioactives is a jaboticaba, originating from the Center-South region of Brazil, its peel is considered an excellent source of anthocyanins and with antioxidant activity. Therefore, this work aimed to develop a multilayer biopolymeric film based on chitosan, incorporated with bioactive compounds from jaboticaba peel, to develop an environmentally friendly packaging that has the function of containing, protecting and prolonging the shelf life of foods. The jaboticaba peels extracts were obtained through the ultrasound extraction technique under conditions of 1 min and 88 ° C, and showed $89.83 \pm 0.05\%$ of antioxidant activity, 159.43 ± 3.71 mg GAE.g⁻¹ for total phenolic compounds and 2235.37 ± 34.21 mg.100g⁻¹ (d.b.) for total anthocyanin. These extracts were incorporated into a filmogenic solution containing chitosan for the development of multilayer films by the casting method. Experimental data were formed by the Statistica software, applying the Student t test to determine differences at the 95% significance level. In the characterization of the films received, a variation of 63.5% in the film color was observed, in addition to an increase in thickness after the addition of the extract, in relation to the control film. From the mechanical analysis it was observed that the addition of the extract decreased the tensile strength and increased the elongation percentage. From the values obtained, it was also observed that the addition of the extract did not interfere with the film solubility, however, it was able to reduce the film swelling index by approximately 20%.

Keywords: Ultrasound extraction. Polysaccharide. Biopolymer. Packaging. Antioxidant activity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diferentes biopolímeros e suas fontes na natureza	24
Figura 2 – Funcionalidade de cada camada em embalagens multicamada	25
Figura 3 – Estrutura molecular da quitosana.....	27
Figura 4 – Tronco de jabuticabeira com frutos	28
Figura 5 – Etapas do desenvolvimento da pesquisa	32
Figura 6 – Sonicador ultrassônico	34
Figura 7 – Formação dos filmes FBE na estufa	37
Figura 8 – Aparato para análise de permeabilidade ao vapor d'água	39
Figura 9 – Cascas de jabuticaba (A) liofilizadas e (B) após moagem e peneiramento	43
Figura 10 – Extrato obtido a partir da casca da jabuticaba através da técnica de extração por ultrassom	44
Figura 11 – Filme bicamada (A) controle e (B) com adição de extrato de casca de jabuticaba	46
Figura 12 – Imagens de MEV da seção transversal do filme bicamada (A) controle e (B) com adição de extrato	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Biopolímeros e extratos naturais utilizados no desenvolvimento de filmes biodegradáveis	22
Quadro 2 – Caracterização da casca de jabuticaba a partir de diferentes métodos de extração.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados obtidos pelas análises dos extratos	44
Tabela 2 – Resultados para a análise de espessura média dos filmes	47
Tabela 3 – Resultados obtidos nas análises colorimétricas dos filmes	47
Tabela 4 – Resultados para os ensaios mecânicos dos filmes	48
Tabela 5 – Resultados de solubilidade em água, índice de intumescimento e permeabilidade ao vapor d'água	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA – Atividade antioxidante

b.s. – Base seca

b.u. – Base úmida

CFT – Compostos fenólicos totais

CIELAB – *Commission Internationale de l'Eclairage*

dp – Diâmetro de partícula

DPPH – 2,2-difenil-1-picril-hidrazil

FBC – Filme bicamada controle

FBE – Filme bicamada com extrato

GAE – Equivalente ácido gálico

GPEPSP – Grupo de Pesquisa Engenharia de Processos em Sistemas Particulados

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

PEBD – Polietileno de baixa densidade

PVA – Permeabilidade ao vapor d'água

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo Geral	18
2.2	Objetivos Específicos	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1	Embalagens para Alimentos	19
3.2	Embalagens Biodegradáveis	20
3.3	Biopolímeros	23
3.4	Embalagens Multicamadas	24
3.5	Qitosana	26
3.6	Jabuticaba	27
3.7	Compostos fenólicos totais	29
3.8	Atividade Antioxidante	30
3.9	Antocianinas	30
4	MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1	Preparo da matéria-prima	33
4.2	Obtenção dos extratos de casca de jabuticaba	34
4.3	Caracterização dos extratos de casca de jabuticaba	35
4.3.1	Compostos fenólicos totais	35
4.3.2	Atividade antioxidante	35
4.3.3	Antocianinas totais	36
4.4	Elaboração dos filmes	36
4.5	Caracterização dos filmes	37
4.5.1	Espessura	37
4.5.2	Permeabilidade ao vapor d'água (PVA)	38
4.5.3	Análise de cor	39
4.5.4	Análise morfológica dos filmes	40
4.5.5	Propriedades mecânicas	40
4.5.6	Solubilidade em água	41
4.5.7	Índice de intumescimento	41
4.5.8	Análise estatística	42
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43

5.1	Extração e caracterização dos compostos bioativos.....	43
5.2	Caracterização dos filmes.....	45
6	CONCLUSÃO.....	53
7	SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	54
	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

As embalagens biodegradáveis bem como as sintéticas, destinam-se ao auxílio na manutenção da qualidade e vida útil dos alimentos, controlando a transferência de umidade, oxigênio, dióxido de carbono, entre outros. Porém, a maior parte das embalagens sintéticas é constituída de plásticos que apresentam boas propriedades mecânicas e eficácia como barreira ao oxigênio e a água, no entanto, sua utilização representa sérios problemas ao meio ambiente (SHAW *et al.*, 2002; THARANATHAN, 2003; DUTTA *et al.*, 2009), principalmente após o seu descarte.

Devido aos problemas ambientais causados pelas embalagens não biodegradáveis, há um crescente interesse em filmes elaborados com polímeros obtidos a partir de fontes renováveis, que geralmente tem como base polissacarídeos, proteínas e lipídeos (DUTTA *et al.*, 2009). De forma geral, filmes são estruturas utilizadas para envolver produtos e quando são completamente degradados por microrganismos são considerados biodegradáveis, sendo denominados biofilmes ou filmes biodegradáveis (KROCHTA; MULDER-JOHNSTON, 1997).

Entretanto, os filmes advindos de biopolímeros ainda apresentam propriedades inferiores comparado com os filmes de fontes fósseis. Sendo assim, a fim de torná-los capazes de competir com os polímeros tradicionais como o polietileno ou polipropileno que são mais fortes e mais dúcteis, há necessidade de se melhorar suas propriedades térmicas, mecânicas e de barreira, além de diminuir o custo em relação aos derivados do petróleo. Estratégias como o desenvolvimento de filmes multicamada, adição de plastificantes como glicerol que aumenta a flexibilidade do produto final, adição de extratos naturais, dentre outras, tem sido usada para melhorar o desempenho de polímeros biodegradáveis em relação à proteção do alimento e aumento da vida de prateleira (ALMEIDA, 2010; GUNISTER *et al.*, 2007; LAVORGNA *et al.*, 2010).

O desenvolvimento de filmes multicamada apresenta várias vantagens como, fácil incorporação de compostos funcionais e produção de filmes uniformes com espessura controlada e propriedades superficiais predeterminadas. O uso de filmes multicamada ajuda a minimizar as perdas devido à migração dos compostos ativos e também pode modificar a cinética de liberação do agente antioxidante para o

ambiente externo, melhorando as propriedades mecânicas ou de barreira (GÓMEZ-ESTACA *et al.*, 2014). Na área de embalagem de alimentos, a utilização de embalagens multicamada fornecem o armazenamento prolongado, qualidade fisiológica aprimorada e proteção antimicrobiana (MORAES; SILVA; VIEIRA, 2020).

A quitosana tem sido muito utilizada para essa finalidade por ser um biopolímero natural. Pode ser obtida por desacetilação da quitina e quando comparado com outros polissacarídeos se destaca por possuir biocompatibilidade e biodegradabilidade, além de apresentar propriedades funcionais como antibacteriana e antifúngica (SHAHIDI *et al.*, 1999; DUTTA *et al.*, 2009).

O Grupo de Pesquisa Engenharia de Processos em Sistemas Particulados (GPEPSP) da Universidade Federal do Pampa desenvolve avanços científicos e tecnológicos relacionados com pesquisas nas áreas de extração de compostos bioativos de resíduos vegetais e elaboração de matrizes biodegradáveis contendo aditivos naturais para serem aplicadas como embalagens de alimentos (ALVES, 2015, MOREIRA, 2019; PEREIRA, 2020; ROSA *et al.*, 2017; ROSA *et al.*, 2019; ROSA *et al.*, 2020; MARTINY *et al.*, 2020). Avila *et al.*, (2020) em suas pesquisas no GPEPSP desenvolveu um filme utilizando o biopolímero carragenana e extrato da casca de jabuticaba, sendo comprovada a presença de compostos bioativos na embalagem, sugerindo que essas possam funcionar como embalagens ativas e inteligentes. O potencial de utilização como embalagem inteligente comprovou-se através da mudança de coloração quando submetida a meios com diferentes valores de pH.

Neste contexto, a incorporação de um composto bioativo natural - o extrato de casca de jabuticaba - para a produção de um filme com potencial para ser utilizado como uma embalagem multicamada baseada em uma matriz polimérica biodegradável – a quitosana – representa uma direção tanto para a substituição de plásticos não biodegradáveis, como para a extensão do prazo de validade de produtos alimentícios sem adição de conservantes químicos sintéticos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Elaborar filmes biopoliméricos multicamada à base de quitosana e extrato da casca da jabuticaba (*Plinia cauliflora*) com potencial para aplicação como embalagem de alimentos.

2.2 Objetivos Específicos

- Extrair os compostos bioativos presentes na casca da jabuticaba (*Plinia cauliflora*) através do uso de ultrassom e caracterizá-los quanto ao teor de compostos fenólicos totais, atividade antioxidante e teor de antocianinas totais;
- Desenvolver filmes multicamada compostas por quitosana e extrato da casca de jabuticaba (*Plinia cauliflora*);
- Caracterizar os filmes obtidos quanto à espessura, propriedades mecânicas (tensão de ruptura e alongamento), permeabilidade ao vapor d'água, cor, morfologia, solubilidade em água e índice de intumescimento.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Embalagens para Alimentos

As embalagens de alimentos são usadas para proteger os alimentos do meio ambiente, contaminação e outras influências (como odores, poeira, temperatura, danos físicos, luz, microrganismos e umidade), e é fundamental para garantir a qualidade e segurança dos alimentos, ao mesmo tempo em que estende a vida útil e minimiza as perdas de alimentos e desperdício (CAROCHO; MORALES; FERREIRA, 2015; NARAYANAN *et al.*, 2017; RIBEIRO-SANTOS *et al.*, 2017; ROBERTSON, 2012).

Devido às mudanças na demanda do consumidor, é possível observar o aparecimento de novas tendências da produção industrial (como produtos alimentícios levemente preservados, frescos, saborosos e convenientes com vida útil aprimorada e qualidade controlada). Com isso, criaram-se novas práticas de varejo (como venda de alimentos a longa distância), tudo isso devido à mudança no estilo de vida acelerado dos clientes. Tais mudanças resultaram em menos tempo gasto na compra de alimentos frescos no mercado bem como redução no tempo de preparação dos mesmos, fazendo com que o mercado de embalagens se reinventasse. Muitos estudos impulsionaram a evolução das técnicas de embalagem, com embalagens inovadoras que mantêm e monitoram a segurança e qualidade alimentar, prolongando a vida útil e reduzindo o impacto ambiental gerado (DAINELLI *et al.*, 2008).

Nos últimos anos, muitos avanços na tecnologia de embalagens apareceram. Atualmente, é possível encontrar no mercado embalagens inteligentes, que são embalagens que oferecem informações do alimento para o consumidor como, por exemplo, indicador de tempo-temperatura, gás indicador, indicadores de cozimento de micro-ondas, identificação por radiofrequência e outros. É possível de ser encontradas também embalagens ativas com propriedades capazes de captar oxigênio, absorver umidade e ação antimicrobiana (BRODY *et al.*, 2008). Essas inovações são capazes de melhorar ainda mais a qualidade dos alimentos, segurança alimentar e prazo de validade.

Entretanto, à medida que a quantidade de embalagens consumidas aumenta, os impactos ambientais dos materiais de embalagem de alimentos têm se tornado

gradualmente um grande problema em todo o mundo. Para alcançar a sustentabilidade em embalagens de alimentos, promover a reciclagem de material de embalagem e aliviar a poluição ambiental, vários estudos têm sido dedicados à criação de novas embalagens com base em recursos renováveis que são ecológicos, biodegradáveis ou compostáveis (GOFFIN *et al.*, 2011; LICCIARDELLO, 2017; PEELMAN *et al.*, 2013; SIRACUSA *et al.*, 2008; NARAYANAN *et al.*, 2017). No entanto, fornecer alternativas de embalagens ecologicamente corretas sem comprometer as características fundamentais das embalagens (propriedades de barreira, propriedades mecânicas e vida útil estendida do produto) exige inovação contínua e desenvolvimento de tecnologias para melhoramento, por exemplo, das embalagens biodegradáveis.

3.2 Embalagens Biodegradáveis

Para conservação de alimentos, a utilização de embalagens adequadas, rígidas e/ou flexíveis é fundamental sendo que a maior parte dessas embalagens é feita de plásticos sintéticos. Esses apresentam boas propriedades mecânicas e barreira ao oxigênio e à água, no entanto, sua utilização representa sérios problemas ao meio ambiente. Quando descartados de forma incorreta, a água pode transportar esses resíduos até as galerias pluviais, responsáveis por levar a água da chuva até os rios, córregos, e, dessa forma, causando a poluição dos mesmos. Alguns animais acabam por confundir os resíduos plásticos com alimento e têm graves consequências, chegando muitas vezes ao óbito (BATISTA, 2016).

Os filmes biodegradáveis podem ser uma solução para este problema. Eles podem ser de dois tipos: coberturas, quando são aplicados diretamente na superfície dos alimentos, e filmes, que possuem a capacidade de formar estruturas próprias independentes. Ambos são definidos como uma fina camada contínua formada ou depositada no alimento, preparada a partir de materiais biológicos, que age como barreira a elementos externos, protegendo o alimento e aumentando sua vida comercial (KROCHTA; MULDER-JOHNSTON, 1997).

Os materiais mais utilizados para a elaboração de filmes são misturas de lipídeos, proteínas, carboidratos, plastificantes, surfactantes, aditivos e solventes, sendo necessário, pelo menos, um biopolímero que tenha a capacidade de formar

uma matriz contínua, homogênea e coesa (GONTARD; GUILBERT, 1996; AMARANTE; BANKS; GANESH, 2001).

As propriedades dos filmes irão depender de vários fatores, tais como, o tipo e a concentração do polímero que é o agente formador do filme, o solvente, o plastificante e as condições de preparo (CUQ *et al.*, 1995; GERRARD, 2002; PRODPRAN; BENJAKUL; ARTHARN, 2007).

A biodegradabilidade e o aumento da segurança alimentar são os principais benefícios das embalagens ativamente funcionais, pois contribuem para uma maior preservação do alimento e do meio ambiente. Dentre os diversos benefícios das embalagens biodegradáveis, está a possibilidade de realizar a adição de extratos naturais em sua composição, os quais apresentam ação antimicrobiana e antioxidante que está entre as mais importantes para a indústria, principalmente para a alimentícia. Isso está relacionado ao fato de que a oxidação é uma das principais reações de degradação que ocorre nos alimentos como, por exemplo, a oxidação lipídica, processo responsável pela deterioração da qualidade de carnes e produtos cárneos, reduzindo a vida de prateleira dos mesmos (AMARAL; SILVA; LANNES, 2018).

Portanto, nos últimos anos, há uma tendência de se estudar o uso de biopolímeros para substituir ou minimizar o uso dos polímeros sintéticos na fabricação de embalagens. O uso de diversos polímeros naturais, também chamados biopolímeros, tem a grande vantagem de serem biodegradáveis (NISA *et al.*, 2015; PARK *et al.*, 2012). O Quadro 1 apresenta um resumo de algumas pesquisas que desenvolveram filmes biodegradáveis baseados em biopolímeros e adição de extratos naturais.

Quadro 1 – Biopolímeros e extratos naturais utilizados no desenvolvimento de filmes biodegradáveis

Base	Solvente	Plastificante	Biopolímero	Extrato natural	Referência
Proteína	Água	Glicerol	Gelatina de peixe	Óleo essencial de <i>Morinda citrifolia</i>	Adilah; Hanani (2016)
Proteína	Água	Glicerol	Gelatina	Amido de batata	Niu <i>et al.</i> (2021)
Proteína	Água	Glicerol	Concentrado proteico de soro	Extrato de alecrim e tomilho	Andrade <i>et al.</i> (2018)
Polissacarídeo	95% etanol	PEG 400	Zeína	Óleo essencial de orégano	Park <i>et al.</i> (2012)
Polissacarídeo	Ácido acético	Glicerol	Quitosana	Boldo e extrato de guaraná	Bonilla; Sobral (2016)
Polissacarídeo	Água	-	Amido de batata	Extrato de chá-verde	Nisa <i>et al.</i> (2015)
Polissacarídeo	Água	Glicerol	Carragenana	Extrato de folha de Oliveira	Martiny <i>et al.</i> (2020)
Polissacarídeo	Ácido acético e Água	Glicerol	Quitosana e Ágar-ágar	Extrato de bacteriocina	Contessa (2021)

Fonte: Autora (2021)

Os biopolímeros, geralmente, baseiam-se em hidrocolóides, sendo que os biopolímeros mais comuns utilizados na preparação de embalagens são as proteínas e os polissacarídeos, que permitem preparar filmes com características melhoradas (ATARÉS; CHIRALT, 2016; GÓMEZ-ESTACA *et al.*, 2016; HAN; YU; WANG, 2018).

As propriedades funcionais dos filmes biodegradáveis, ainda são inferiores às daquelas de plásticos sintéticos. Algumas limitações no que se refere às propriedades do material estão relacionadas com a fragilidade, instabilidade térmica, baixa resistência ao impacto, alta permeabilidade ao vapor de água e oxigênio, que ao serem utilizadas em alimentos frescos, o mesmo fica suscetível a perda de umidade alterando as propriedades sensoriais do produto (KHAN *et al.*, 2017; CYRAS; SOLEDAD; ANALÍA, 2009). Gerando assim a necessidade de mais estudos voltados a investigar estratégias para melhorar as propriedades, a fim de estes novos

materiais poderem resistir aos possíveis tratamentos da indústria alimentícia e conter o alimento com suas propriedades sensoriais por mais tempo.

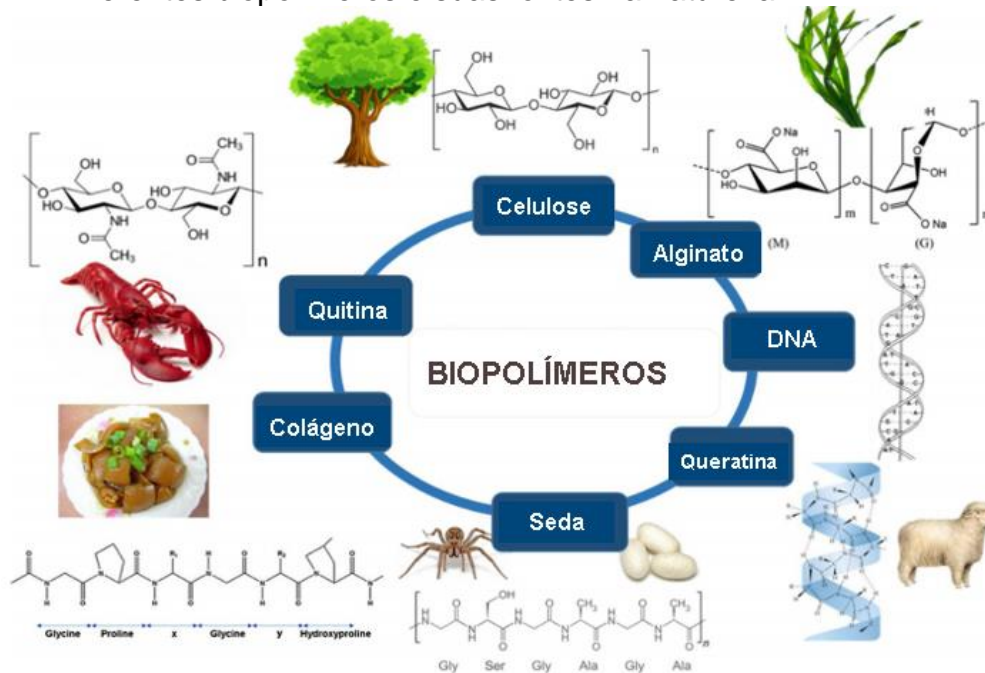
3.3 Biopolímeros

Os biopolímeros são materiais biodegradáveis obtidos de fontes renováveis e apresentam enorme potencial de aplicação na área de embalagens. O termo biopolímero (ou bioplástico) tem sido utilizado com frequência na literatura para definir os polímeros formados em condições naturais a partir de matérias-primas de fontes renováveis, como: milho, cana-de-açúcar, celulose, quitina e outras (MITRUS; WOJTOWICZ; MOSCICKI, 2009).

Os polímeros biodegradáveis são polímeros nos quais a degradação resulta da ação de microrganismos de ocorrência natural como bactérias, fungos e algas (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2004; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006), podendo ser consumidos em semanas ou meses sob condições favoráveis de biodegradação (PEELMAN *et al.*, 2013). Eles podem ser provenientes de fontes naturais renováveis, sintetizados por bactérias a partir de pequenas moléculas ou até mesmo serem derivados de fonte animal, como a quitina ou proteínas.

Na natureza, a celulose, a quitina/quitosana e o alginato são três polissacarídeos comuns unidos por ligações glicosídicas; enquanto seda, colágeno e queratina são três proteínas típicas que consistem em longas cadeias de aminoácidos. Esses biopolímeros são renováveis e podem ser derivados de fontes naturais, como plantas, exoesqueletos de artrópodes, pele, casulo de bicho-da-seda, teia de aranha e cabelo (ROUSE; DYKE, 2010). Finalmente, ácido desoxirribonucleico (DNA) é um polinucleotídeo que carrega informação genética para instruir o crescimento, função e reprodução de organismos vivos e muitos vírus. A Figura 1 apresenta as estruturas moleculares e fontes de biopolímeros de formação natural.

Figura 1 – Diferentes biopolímeros e suas fontes na natureza



Fonte: Adaptado de Xiong *et al.* (2018)

O potencial de uso dos biopolímeros tem sido reconhecido por ser uma alternativa interessante de superar a limitação dos recursos petroquímicos no futuro. No entanto, os biopolímeros naturais ainda não encontraram aplicações extensivas na indústria para substituir em grande parte materiais plásticos convencionais, devido aos seus elevados custos de produção e às vezes às suas propriedades de baixo desempenho quando comparados aos polímeros convencionais, além é claro, das limitações para serem fabricados de maneira contínua (AVÉROUS; POLLET, 2012). Nesse sentido, diversos estudos têm sido realizados com materiais obtidos de fontes renováveis a fim de solucionar suas limitações para futura aplicação como materiais de embalagem.

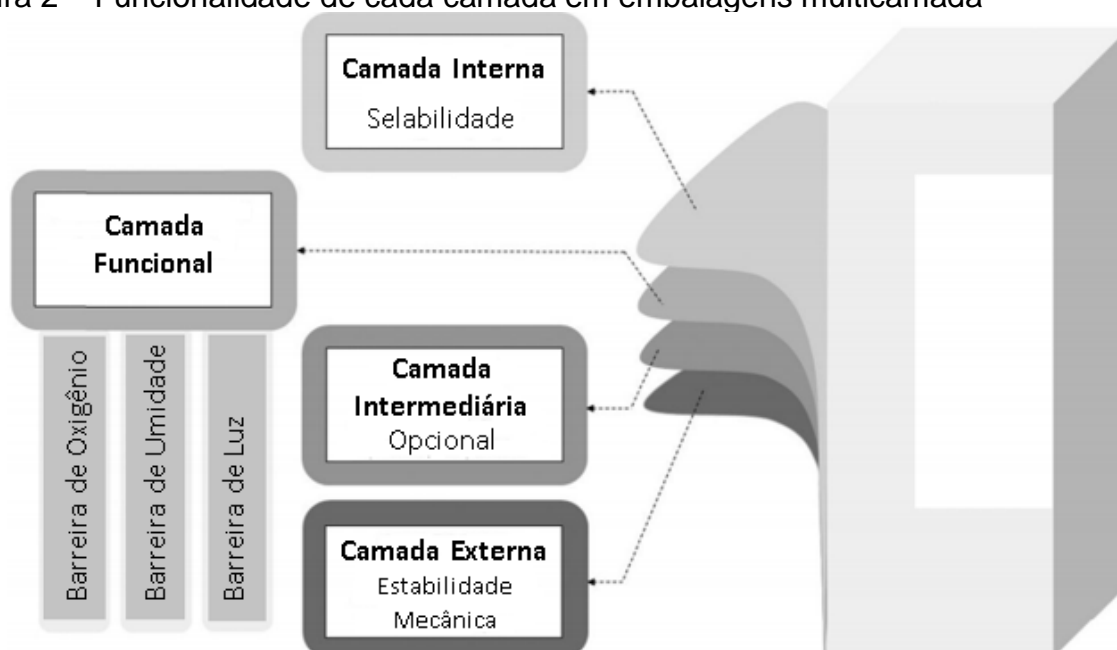
3.4 Embalagens Multicamadas

As embalagens multicamada são uma alternativa emergente de desenvolver uma única embalagem com melhor desempenho em termos de proteção e durabilidade aprimoradas, unindo as funcionalidades exclusivas de vários polímeros. Na maioria dos casos, é impossível uma embalagem monocamada atender a todos os requisitos necessários para embalar um alimento, incluindo contenção (resistência e capacidade de selagem), proteção e preservação (umidade, gás, luz,

sabor/odor), resistência à tração, amolecimento, deslizamento, rigidez, flexibilidade, resistência ao calor, promoção e conveniência, garantindo a relação custo-benefício e aderência a todos os aspectos da segurança alimentar (KAISER; SCHMID; SCHLUMMER, 2017).

Assim, a justificativa por trás da fabricação de embalagens multicamada é desenvolver uma única estrutura de empacotamento que possua múltiplas propriedades funcionais a fim de atender todos os complexos requisitos de embalagem. A Figura 2 mostra as principais camadas de uma embalagem multicamada e suas funcionalidades.

Figura 2 – Funcionalidade de cada camada em embalagens multicamada



Fonte: Adaptado de Anukiruthika *et al.* (2020)

Um exemplo de embalagem multicamada muito utilizada atualmente são as embalagens de leite, as quais são compostas por 75% de papel cartão (dois papéis unidos sem cola, que oferecem suporte mecânico e resistência à embalagem), 20% de filmes de polietileno de baixa densidade (PEBD), que impede a umidade e o contato direto do alimento com o alumínio, além de evitar o vazamento e 5% alumínio que atua como barreira à entrada de luz e oxigênio (TETRA PAK INTERNATIONAL, 2020).

Entretanto, esses materiais multicamada produzidos a partir de fontes sintéticas possuem um processo de reciclagem bastante difícil, exigindo uma análise cuidadosa de sustentabilidade antes do seu uso. A maioria das embalagens

multicamada são incineradas ou depositadas em aterro, levando anos para se decompor na natureza decorrente da dificuldade de separação dos materiais presentes nas camadas (KAISER; SCHMID; SCHLUMMER, 2017).

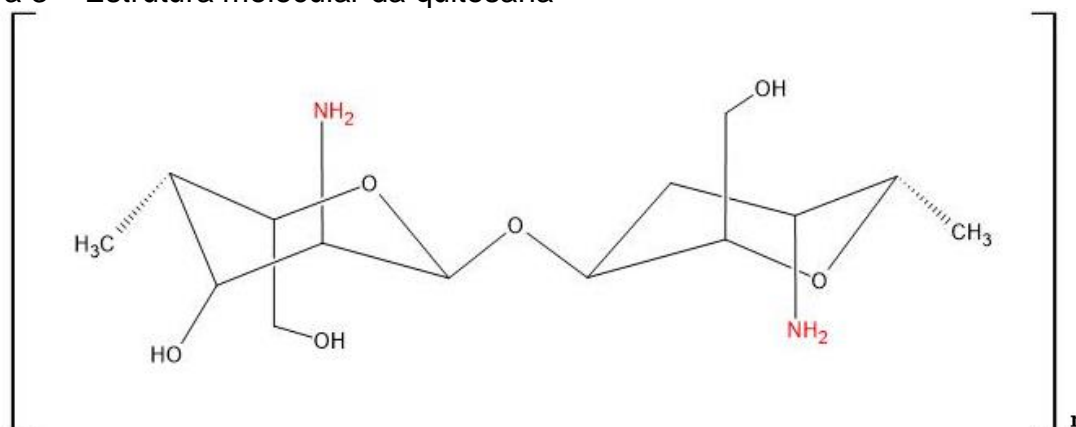
Logo, há uma crescente preocupação com o acúmulo de plástico e materiais de embalagem, o que tem impulsionado as pesquisas e a indústria a se concentrarem em polímeros biodegradáveis e de fontes compostáveis, como o desenvolvimento de embalagens multicamada inovadoras (RAMBABU *et al.*, 2019). Cinelli *et al.* (2014), trabalharam na produção de um material bicamada utilizando como biopolímero a proteína de soro de leite em uma mistura de copoliéster e poli (ácido láctico), um filme biodegradável comercial. O filme exibiu biodegradabilidade completa e excelentes propriedades de barreira ao oxigênio. Bonilla e Sobral (2016), desenvolveram filmes monocamada à base de quitosana e observaram um aumento na elasticidade dos filmes e uma redução na permeabilidade ao vapor d'água após incrementos do biopolímero.

3.5 Quitosana

A quitosana é um biopolímero obtido a partir da quitina, a qual é considerada o segundo polissacarídeo mais abundante da natureza, podendo ser encontrada naturalmente em diversos organismos. Além disso, é o principal componente da parede celular dos fungos e do exoesqueleto dos artrópodes. A quitosana há décadas tem sido considerada como um composto de grande interesse industrial e desenvolvimento de pesquisas devido suas características atóxicas e de fácil formação de filmes (WANG *et al.*, 2019).

A produção de quitosana envolve desproteínização, desmineralização, desodorização e desacetilação. O processo de desacetilação consiste na remoção da maioria dos radicais acetilas da estrutura e substituição dos mesmos por um átomo de hidrogênio, resultando em um radical amino. Portanto, os polímeros desacetilados, com grau de desacetilação acima de 50% podem ser considerados quitosana (LIMA, 2010). A fórmula molecular genérica pode ser expressa como $(C_6H_{11}O_4N)_n$ e ilustrada conforme a Figura 3, onde se pode observar os radicais amino em vermelho.

Figura 3 – Estrutura molecular da quitosana



Fonte: Autora (2021)

Os materiais à base de quitosana têm sido amplamente aplicados em vários campos por sua natureza biológica e propriedades físicas de biocompatibilidade, biodegradabilidade e capacidade antimicrobiana. Por possuir propriedade única de aumentar sua viscosidade após hidratação, além de sua habilidade em formar filmes resistentes e excelente desempenho na indústria de alimentos, materiais à base de quitosana podem ser utilizados como películas ou revestimentos em alimentos atuando como uma barreira na forma de filmes para proteção do alimento (WANG *et al.*, 2019).

A quitosana não é solúvel em água, mas se dissolve em soluções aquosas de ácidos orgânicos, como os ácidos acético, fórmico e cítrico e também em ácidos inorgânicos, como o ácido clorídrico diluído (SANTOS; SOARES; DOCKAL, 2003). O filme obtido a partir da quitosana é flexível, durável, forte, resistente, tem valores moderados de permeabilidade ao oxigênio, diminui a taxa respiratória do alimento e inibe o crescimento microbiano (AGULLÓ *et al.*, 2003). Essas propriedades associadas à adição de um extrato natural de plantas, flores e frutos, por exemplo, frutos de jabuticaba, podem resultar em um material promissor para embalagem na indústria alimentícia.

3.6 Jabuticaba

A jabuticaba (*Plinia cauliflora*) é uma planta nativa do Brasil que pode ser encontrada desde o estado do Rio Grande do Sul até o estado do Pará, sendo que as maiores produções estão situadas nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo (FARIA *et al.*, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2003). A

jabuticabeira tem frutos pequenos, de casca negra, que crescem no tronco e ramos, dando uma característica peculiar à árvore, conforme mostra a Figura 4.

Figura 4 – Tronco de jabuticabeira com frutos



Fonte: Semensato *et al.*, 2020

Este fruto tropical pode florescer de 2 a 5 vezes durante o ano, dependendo da região e da idade da jabuticabeira. É muito apreciado por apresentar características sensoriais interessantes para o consumo *in natura* e para a fabricação de geleias, bebidas fermentadas, vinagre e licores, tendo um grande potencial econômico (VIEITES *et al.*, 2011). Possui elevados teores de compostos fenólicos, responsáveis pela coloração escura da mesma e dentre eles estão as antocianinas. Além disso, apresenta valor nutricional por conter teores de carboidratos, fibras, vitaminas, flavonoides, carotenoides, sais minerais como ferro, cálcio e fósforo em quantidades relevantes quando comparado a outros frutos semelhantes (CAVALCANTI; VEGGI; MEIRELES, 2011).

A planta apresenta grande capacidade de produção anual, com média de 200 kg de frutos por planta adulta, entretanto, a principal parte da fruta destinada ao consumo e processamento é a polpa, sendo que as cascas e sementes representam juntas aproximadamente 50% do peso total da fruta *in natura* (MARTINS *et al.*,

2011). Logo, na comercialização desse fruto, grande parte da composição é considerada um resíduo e, portanto, descartados anualmente no Brasil. Por se tratar de materiais ricos em compostos fenólicos, atividade antioxidante e antocianinas, principalmente a casca, uma boa alternativa é a recuperação das mesmas de forma a agregar valor a esse subproduto. Uma forma de extrair estes compostos é através da técnica de ultrassom. Segundo Corbin *et al.* (2015), as cavitações acústicas, produzidas pelo ultrassom, facilitam a penetração do solvente nas paredes celulares da matriz vegetal, permitindo que o conteúdo intracelular seja liberado de forma eficiente. Já a agitação do solvente, provocada pelas cavitações, tende a aumentar a área de contato entre o solvente e os compostos-alvo, permitindo uma maior penetração do mesmo na matriz da amostra, e, conseqüentemente, uma maior taxa de transferência de massa.

3.7 Compostos fenólicos totais

Os compostos fenólicos totais (CFT) são estruturas químicas que apresentam hidroxilas e anéis aromáticos, nas formas simples ou de polímeros, que os confere o poder antioxidante. Esses compostos podem ser naturais ou sintéticos. Quando presentes em vegetais podem estar em formas livres ou complexadas a açúcares e proteínas. Dentre eles, destacam-se os flavonoides, as antocianinas, os ácidos fenólicos, os taninos e os tocoferóis como os antioxidantes fenólicos mais comuns de fonte natural (ANGELO; JORGE, 2007).

Esses compostos encontram-se largamente em plantas e são um grupo muito diversificado de fitoquímicos derivados de fenilalanina e tirosina. Os fenólicos, em plantas, são essenciais no crescimento e reprodução dos vegetais, além de atuarem como agente antipatogênico e contribuírem na pigmentação. Em alimentos, são responsáveis pela cor, adstringência, aroma e estabilidade oxidativa. As principais fontes de compostos fenólicos são frutas cítricas, como limão, laranja e tangerina, além de outras frutas a exemplo da cereja, uva, ameixa, pêra, maçã e mamão, sendo encontrados em maiores quantidades na polpa que no suco da fruta. Pimenta verde, brócolis, repolho roxo, cebola, alho e tomate também são excelentes fontes destes compostos (PIMENTEL; FRANCKI; GOLLÜCKE, 2005).

3.8 Atividade Antioxidante

A atividade antioxidante (AA) é uma propriedade que inibe a oxidação de outras moléculas. A oxidação é uma reação química que transfere elétrons ou átomos de hidrogênio de uma dada substância a um agente oxidante. As reações de oxidação podem produzir radicais livres. Por sua vez, esses radicais podem iniciar reações em cadeia e quando isso ocorre em uma célula, pode causar danos ou a morte da mesma (MOHARRAM; YOUSSEF, 2014).

Os antioxidantes podem ser classificados, de acordo com seu modo de ação, em dois grupos: primários e secundários. Os primários são os antioxidantes que quebram a cadeia, reagem com os radicais lipídicos e os convertem em produtos mais estáveis. Antioxidantes deste grupo são principalmente fenólicos em estrutura e incluem minerais antioxidantes, vitaminas antioxidantes e fitoquímicos que podem ser os flavonoides, os carotenoides, o β -caroteno e o licopeno. Exemplos de alimentos ricos nesses compostos são a pimenta do reino, o tomilho, o alho, o cominho e seus derivados. Já os antioxidantes secundários são aqueles que realizam a função de capturar radicais livres e parar as reações em cadeia. Os compostos incluem o hidroxianisol-butilado, o hidroxibutilado, o tolueno, entre outros (HURRELL, 2003).

3.9 Antocianinas

As antocianinas são uma classe importante de flavonoides que representam um grande grupo de plantas com metabólitos secundários, ou seja, compostos relacionados com a proteção dos vegetais a estresses bióticos e abióticos. São considerados compostos polifenólicos glicosilados com uma gama de cores que variam de laranja, vermelho e roxo a azul em flores, sementes, frutos e tecidos vegetativos (TANAKA; SASAKI; OHMIYA, 2008). Além disso, são pigmentos solúveis em água que estão principalmente localizados na parede celular da matriz vegetal e podem ser facilmente extraídas com solventes polares, sendo os solventes alcoólicos, como metanol e etanol, os mais utilizados. Nas plantas, as principais antocianinas são: a pelargonidina, a cianidina, a delphinidina, a peonidina, a petunidina e a malvidina (KONG *et al.*, 2003).

As antocianinas protegem as plantas contra vários estresses bióticos e abióticos, parcialmente devido às suas poderosas propriedades antioxidantes (CHALKER-SCOTT, 1999). Além disso, produtos alimentícios ricos em antocianinas tornaram-se cada vez mais populares devido às suas cores atraentes e benefícios para a saúde humana (POJER *et al.*, 2013). O Quadro 2 apresenta os valores encontrados na caracterização da casca de jabuticaba com o emprego de diferentes metodologias para extração dos compostos bioativos.

Quadro 2 – Caracterização da casca de jabuticaba a partir de diferentes métodos de extração

Metodologia	AA (%)	CFT (mg GAE.g⁻¹) (b.s)	Antocianinas (mg.100g⁻¹) (b.s)	Referência
Extração por maceração (1 h e 60 °C)	78,61 ±0,21	191,78 ±1,88	419,57 ±0,02	Avila <i>et al.</i> (2019)
Extração por micro-ondas (1 min e 80 °C)	-	383,81 ±7,41	207,96 ±7,82	Avila <i>et al.</i> (2020)
Extração por ultrassom (5,5 min e 80 °C)	74,89 ±0,30	243,9 ±2,89	1295,35 ±0,004	Barreto <i>et al.</i> (2020)

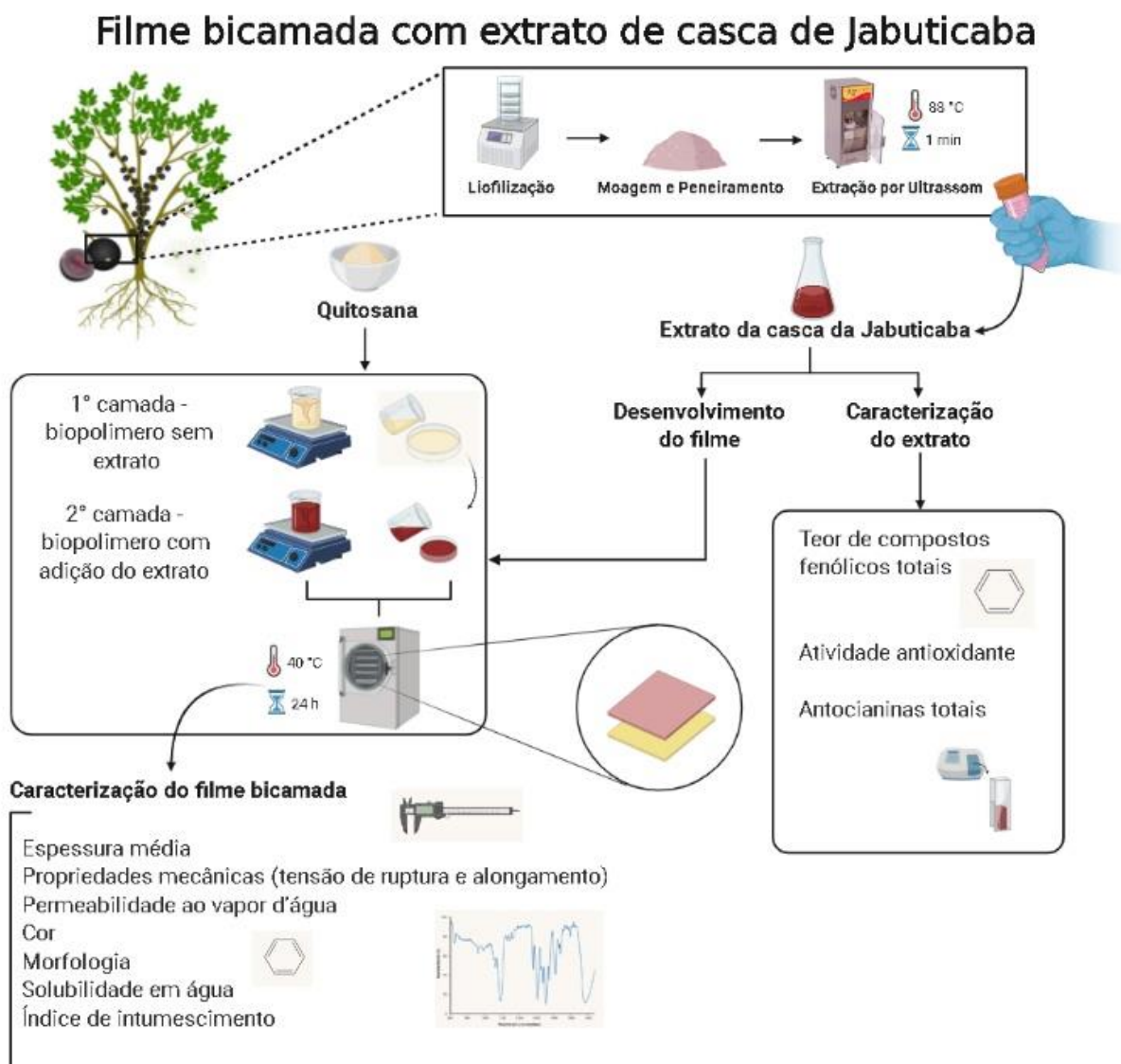
Fonte: Autora (2021)

Visto isso, apesar de ser considerado um resíduo, a casca da jabuticaba tem despertado interesse devido ao alto teor de compostos fenólicos, como as antocianinas, sendo a cianidina-3-glucosídeo a espécie majoritária, responsáveis pela coloração escura da mesma. Esses compostos bioativos promovem benefícios à saúde em decorrência, por exemplo, da elevada atividade antioxidante desempenhada pelos mesmos (BASEGGIO *et al.*, 2018).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos objetivos propostos a pesquisa foi dividida em etapas, conforme esquematizado na Figura 5.

Figura 5 – Etapas do desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Autora (2021)

Primeiramente, foram realizados os ensaios referentes à obtenção do extrato de cascas de jabuticaba e análise do conteúdo de compostos fenólicos, antocianinas totais e atividade antioxidante. Na sequência, foram realizados ensaios para elaboração dos filmes multicamada pelo método de *casting*, utilizando na formulação quitosana e glicerol. Os filmes elaborados eram compostos por duas camadas: a

externa composta apenas pelo polímero e plastificante e a interna, que além de polímero e plastificante continha também o extrato da casca de jabuticaba. Os filmes produzidos foram avaliados quanto à espessura, propriedades mecânicas (tensão de ruptura e alongamento), permeabilidade ao vapor d'água, cor, morfologia, solubilidade em água e índice de intumescimento. Maiores detalhes desses procedimentos serão descritos a seguir.

4.1 Preparo da matéria-prima

Os frutos maduros da jabuticaba foram coletados em uma fazenda localizada em Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, em novembro de 2020. As cascas de jabuticaba utilizadas para obtenção dos extratos foram obtidas por meio de separação manual das cascas dos frutos colhidos. Após a separação, as mesmas foram higienizadas com água corrente e solução de hipoclorito de sódio (3%). Em seguida, as cascas foram armazenadas em sacos herméticos e acondicionadas em freezer (-18 °C). As cascas congeladas passaram por um processo de liofilização em liofilizador de bancada (Terroni - LS3000, Brasil) por 48 h, seguindo a metodologia proposta por Avila *et al.* (2019), onde foram mantidas em condição de alto vácuo (aproximadamente 0,3 mmHg) e temperatura de -50 °C. As cascas liofilizadas de jabuticaba foram moídas em moinho analítico (IKA® – A11BS32, China). Para padronização da granulometria das partículas, realizou-se o peneiramento em peneira de 60 *mesh* fabricadas nos padrões ABNT/ASTM/TYLER (BERTEL INDÚSTRIA METALÚRGICA LTDA., Brasil) e utilizou-se a fração passante ($dp < 0,250$ mm).

A umidade do pó das cascas de jabuticaba foi determinada pelo método gravimétrico em estufa a 105 °C por 24 h. O conteúdo de umidade em base seca e úmida foi calculado por meio das Equações 1 e 2, respectivamente.

$$U_{BS} = \frac{m_{H_2O}}{m_{SS}} \cdot 100 \quad (1)$$

$$U_{BU} = \frac{m_{H_2O}}{m_{am}} \cdot 100 \quad (2)$$

Em que m_{H_2O} é a massa de água (g), m_{SS} é a massa de sólido (g) e m_{am} é a massa da amostra (g).

4.2 Obtenção dos extratos de casca de jabuticaba

Para a obtenção dos extratos utilizou-se uma massa de 0,5 g do pó de casca de jabuticaba liofilizada, moída e peneirada e 50 mL de solvente (água destilada acidificada, pH 1), correspondendo a uma razão de 1:100 (m/v), seguindo a metodologia proposta por Avila *et al.* (2019). A escolha do solvente extrator ocorreu visando à aplicação dos filmes como embalagens de alimentos. Por esse motivo, optou-se pelo uso de água destilada no pH 1 (acidificada com ácido clorídrico), a qual não apresenta toxicidade e, portanto, dispensa etapas posteriores (AVILA *et al.*, 2019).

A extração foi realizada em sonicador ultrassônico (ECOSONICS - ULTRONIC QR 500, Brasil), como mostrado na Figura 6, com ajuste de potência de 99% e frequência ultrassônica de 20 kHz. Optou-se pela técnica de extração por ultrassom, pois se trata de uma metodologia de intensificação do processo, tornando possível a obtenção de elevadas taxas de extração em menores tempos.

Figura 6 – Sonicador ultrassônico



Fonte: Primalab (2019)

A temperatura de extração foi controlada através de um béquer encamisado acoplado a um banho termostático. O tempo e a temperatura de extração foram de 1

min e 88 °C, respectivamente, parâmetros que foram determinados em estudos anteriores (BARRETO *et al.*, 2020). Por fim, os extratos obtidos foram filtrados a vácuo utilizando-se papel filtro como meio filtrante, armazenados ao abrigo da luz e, em seguida, caracterizados.

4.3 Caracterização dos extratos de casca de jabuticaba

4.3.1 Compostos fenólicos totais

Para análise do conteúdo de compostos fenólicos totais (CFT) presente nos extratos utilizou-se a metodologia descrita por Singleton e Rossi (1965). Esse método baseia-se em uma reação colorimétrica de oxidação/redução que utiliza o reagente Folin-Ciocalteu. Para tal, foi utilizado 0,5 mL das amostras de extratos, 10 mL de água destilada e 1 mL do reagente Folin Ciocalteu em um tubo de ensaio. Após 3 min, adicionou-se 8 mL de solução de Na₂CO₃ (7,5% m/v) e as amostras mantidas ao abrigo da luz pelo período de 2 h de forma a garantir a estabilização da reação. Transcorrido o tempo, realizou-se a leitura de absorvância das amostras em espectrofotômetro (UV 755B, EQUILAM, Brasil) no comprimento de onda de 765 nm. As amostras foram realizadas em triplicata e a quantificação dos compostos fenólicos totais foi expressa em mg de GAE.g⁻¹ de amostra seca, sendo necessária a construção de uma curva de calibração utilizando ácido gálico (GAE) em diferentes concentrações (50 a 1000 mg/L).

4.3.2 Atividade antioxidante

Para a análise de atividade antioxidante utilizou-se a metodologia proposta por Brand-Willians (1995), na qual, o reagente utilizado 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH) é reduzido e seu radical é capturado por antioxidantes, fazendo com que ocorra um decréscimo na absorvância do extrato que é lida no comprimento de onda de 517 nm. Para a análise foram utilizadas alíquotas de 200 µL de extrato, as quais são acrescidas de 7,8 mL de solução de DPPH. As amostras permaneceram ao abrigo da luz pelo período de 30 min e após realizou-se as leituras de absorvância. As leituras das amostras foram feitas em triplicata e os resultados obtidos através da Equação 3.

$$AA (\%) = \frac{Abs_{controle} - Abs_{amostra}}{Abs_{controle}} \quad (3)$$

4.3.3 Antocianinas totais

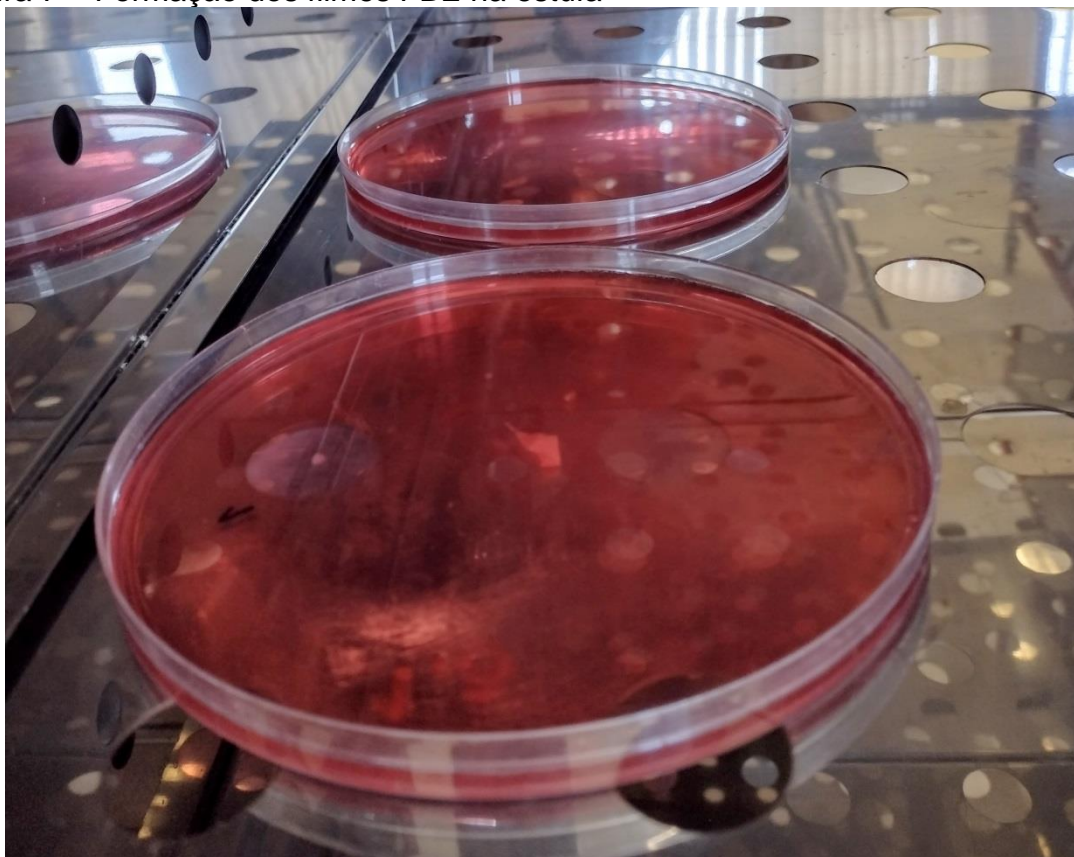
A análise do teor de antocianinas totais nos extratos foi realizada a partir da leitura da absorvância do extrato da casca da jabuticaba em espectrofotômetro UV-Vis no comprimento de onda de 520 nm. Foi construída uma curva padrão da cianidina-3-glucosídeo, que é a antocianina majoritária presente na casca da jabuticaba, com concentrações variando de 5 a 100 mg.L⁻¹, as amostras foram feitas em triplicata e os resultados expressos em mg de Cn-3-Glu equivalente por 100 g de matéria seca.

4.4 Elaboração dos filmes

Os filmes de quitosana foram produzidos a partir da técnica de *casting* seguindo a metodologia descrita por Wang *et al.* (2019). A solução filmogênica foi obtida através da dissolução de 1 g do pó de quitosana (Oakwood Chemical), massa molar 170,7 - 198,5 kDa e grau de desacetilação 95% em 75 mL de solução de ácido acético (Synth) a 1% (v / v) e 0,3 g de glicerol a temperatura ambiente (± 25 °C). A solução permaneceu sob agitação (100 rpm) por 3 h até formar uma mistura homogênea. Então, a solução foi colocada uniformemente em placas de *Petri* de acrílico de 15 cm de diâmetro para que ocorresse a formação da primeira camada do filme, a qual foi seca em estufa a 40 °C pelo período de 7 h até formar uma superfície consistente, mas ainda aderente. Em seguida, foi adicionada a solução filmogênica correspondente a segunda camada do filme, contendo 1 g de quitosana solubilizada em 50 mL de solução de ácido acético a 1% e 25 mL de extrato de jabuticaba, conforme a Figura 7. O filme bicamada permaneceu em estufa a 40 °C por 14 h, até a secagem completa.

Para o desenvolvimento do filme bicamada controle (FBC), realizou-se o mesmo processo citado anteriormente, porém, as duas camadas foram produzidas com a mesma formulação de solução filmogênica da primeira camada.

Figura 7 – Formação dos filmes FBE na estufa



Fonte: Autora (2021)

Após o processo de secagem, os filmes foram acondicionados em um dessecador contendo solução de ácido sulfúrico, para manter a umidade relativa em 50% no interior do mesmo, por 48 h.

4.5 Caracterização dos filmes

4.5.1 Espessura

A espessura dos filmes refere-se à média aritmética da espessura de dez posições aleatórias sobre a área dos filmes, a qual foi obtida com o auxílio de um micrômetro digital (Insize-IP65, China).

4.5.2 Permeabilidade ao vapor d'água (PVA)

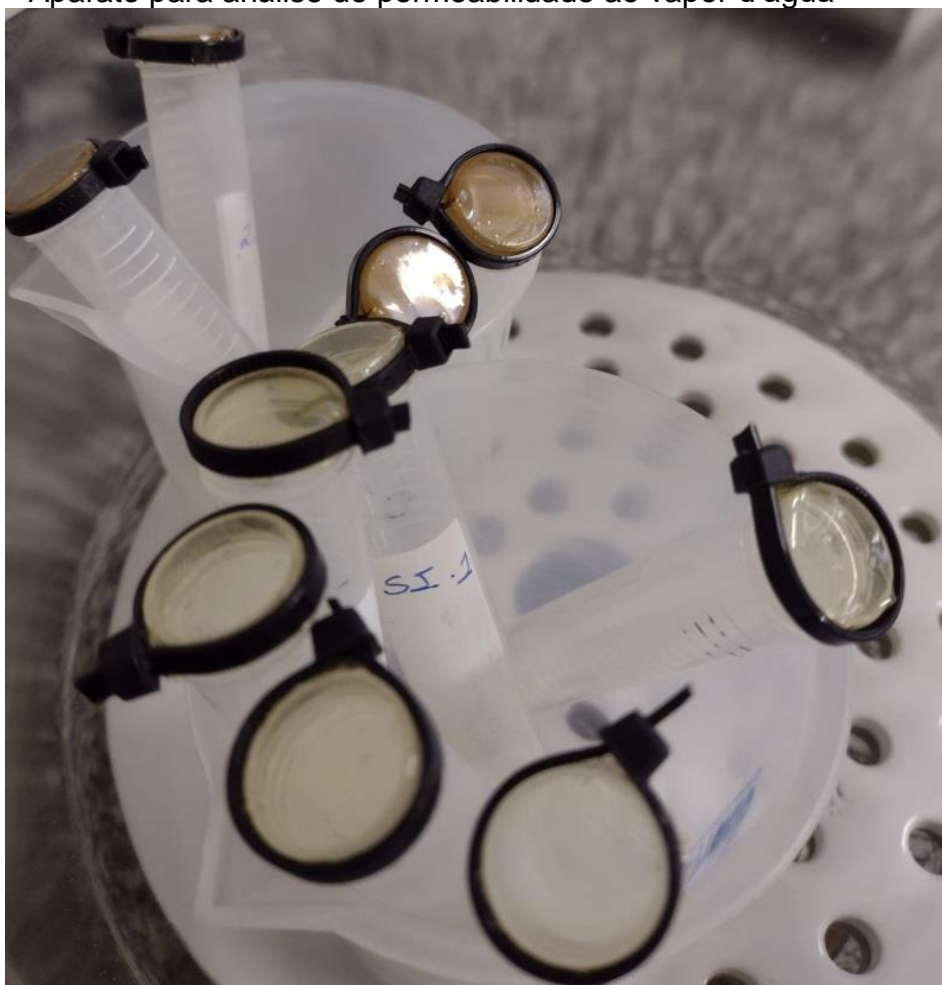
A permeabilidade ao vapor d'água (PVA) dos filmes foi determinada através de gravimetria utilizando-se o método ASTM E96/E96M-16. As amostras de filme foram seladas em células de permeação contendo, aproximadamente 2,3 g de cloreto de cálcio anidro. Em seguida, as células foram acondicionadas em dessecadores com umidade relativa de 50% durante 7 dias e monitoradas através de pesagem que ocorreu no primeiro e último dia. A análise foi realizada em duplicata e a permeabilidade ao vapor d'água foi calculada a partir da Equação 4.

$$PVA = \frac{m_{ab} \cdot e}{t \cdot A \cdot \Delta P} \quad (4)$$

sendo PVA a permeabilidade ao vapor d'água, ($\text{g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$), m_{ab} é a massa de umidade absorvida (g), t é o tempo total da análise (s), e é a espessura do filme (m), A a área da superfície exposta (m^2) e ΔP é a diferença de pressão parcial através do filme (Pa).

A Figura 8 apresenta o aparato experimental da análise de PVA.

Figura 8 – Aparato para análise de permeabilidade ao vapor d'água



Fonte: Autora (2021)

4.5.3 Análise de cor

A análise de cor foi realizada utilizando-se um espectrofotômetro (Konica Minolta, 190 CM-2600D, Japão) em que foram medidos os padrões L^* , a^* e b^* pertencentes ao espaço de cor conhecido como CIELAB. Tais medições foram realizadas em 5 pontos aleatórios dos filmes e a cor calculada pela Equação 5.

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_S^*)^2 + (a^* - a_S^*)^2 + (b^* - b_S^*)^2} \quad (5)$$

sendo que L^* pode variar de preto (0) a branco (100); a^* pode variar de verde (-) a vermelho (+); b^* pode variar de azul (-) a amarelo (+); o subíndice s corresponde aos filmes controle e ΔE^* a diferença de cor.

4.5.4 Análise morfológica dos filmes

Os filmes foram avaliados quanto a sua morfologia por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Para tal, prepararam-se previamente amostras de filmes com a aplicação de uma película de ouro e em seguida observadas em MEV (Carl Zeiss, EVO MA10) com uma voltagem de aceleração de 5 KV e magnificação de até 500 X.

4.5.5 Propriedades mecânicas

Avaliaram-se as propriedades mecânicas dos filmes como resistência à tração e porcentagem de alongação à ruptura. Para isso, utilizou-se um texturômetro (STABLE 203 MICRO SYSTEM – TA.XT.plus, UK) e célula de carga de 50 N, conforme método estabelecido pela ASTM D882 -18. A resistência à tração foi calculada pela Equação 6 e a porcentagem de alongação à ruptura foi obtida pela Equação 7.

$$T = \frac{F_m}{A_{min}} = \frac{F_m}{L \cdot e} \quad (6)$$

$$E \% = \frac{d_r}{d_i} \cdot 100 \quad (7)$$

para o cálculo de resistência à tração T corresponde a tensão obtida em resposta à tração (Pa), F_m é a força máxima medida na ruptura do filme (N), A_{min} é a área da seção transversal mínima original (m²) calculada com os valores de L (largura) e e (espessura). Para o cálculo de porcentagem de alongação à ruptura $E \%$ refere-se a porcentagem de alongação do filme, d_r é a distância percorrida pela garra móvel para a ruptura do filme (m) e d_i é a distância inicial entre as garras (m).

4.5.6 Solubilidade em água

A análise de solubilidade em água dos filmes foi realizada conforme método descrito por Gontard *et al.* (1994). Inicialmente determinou-se a matéria seca inicial por meio de secagem dos filmes em estufa a 60 °C por 24 h. Após, recortou-se discos com 2 cm de diâmetro, os quais foram imersos em 50 mL de água destilada e submetidos a agitação branda e temperatura ambiente (25 °C) pelo período de 24 h. Para a determinação da matéria seca final as amostras foram submetidas à secagem em estufa (60 °C por 24 h). A solubilidade em água foi obtida através da Equação 8.

$$SA = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100 \quad (8)$$

sendo SA a solubilidade em água expressa em %, m_i é a massa de matéria seca inicial (g) e m_f é a massa de matéria seca final (g).

4.5.7 Índice de intumescimento

O índice de intumescimento foi analisado pela metodologia adaptada de Bunhak *et al.* (2007). Os filmes foram cortados em amostras de 0,001 m² e inseridos em estufa para secagem à temperatura de 60 °C por 24 h. Após determinação da massa seca, os filmes foram imersos em meio contendo água destilada por 10 min. Após, drenou-se o excesso de água e pesou-se novamente os filmes. As características do índice de intumescimento dos filmes foram quantificadas seguindo a Equação 9.

$$SI (\%) = \frac{m_f - m_i}{m_i} \cdot 100 \quad (9)$$

sendo m_i é a massa do filme seco antes do teste (g) e m_f é a massa do filme após a imersão em água (g).

4.5.8 Análise estatística

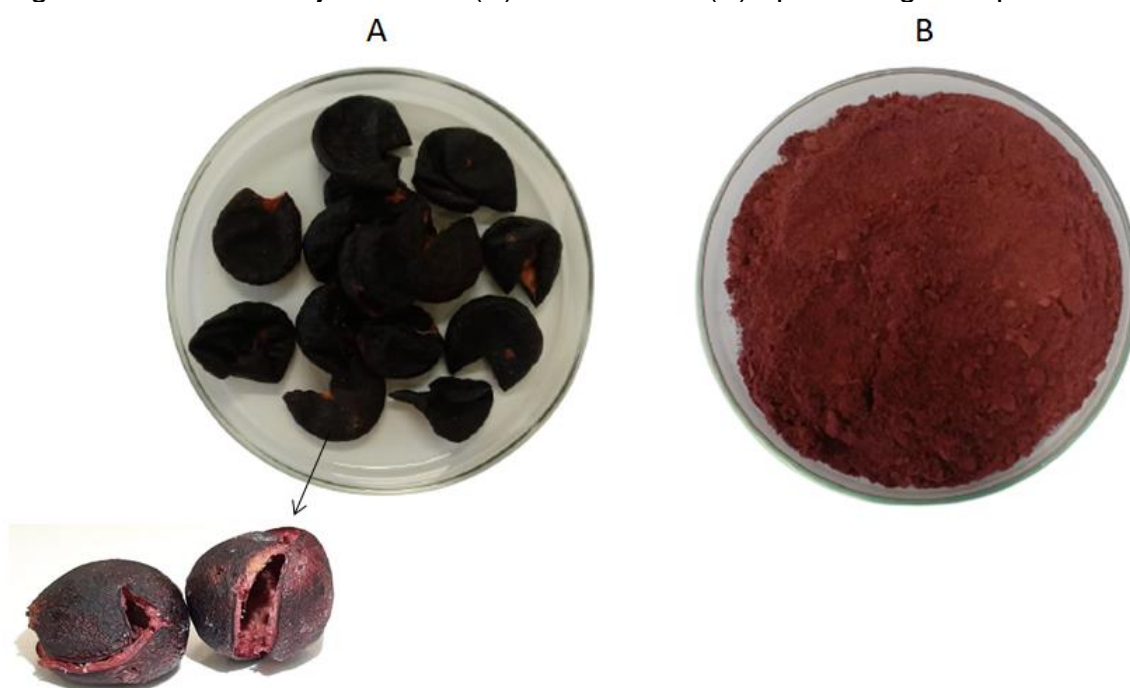
Os dados experimentais foram analisados utilizando o *software Statistica* (Stat Soft Inc., 10). O teste t de Student foi aplicado para determinar diferenças ao nível de significância de 95%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Extração e caracterização dos compostos bioativos

A amostra de pó de casca de jabuticaba obtida após o processo de liofilização, moagem e peneiramento apresentou umidade de $11,79 \pm 0,04$ % em base seca. A Figura 9 representa a casca de jabuticaba antes e após o processamento.

Figura 9 – Cascas de jabuticaba (A) liofilizadas e (B) após moagem e peneiramento

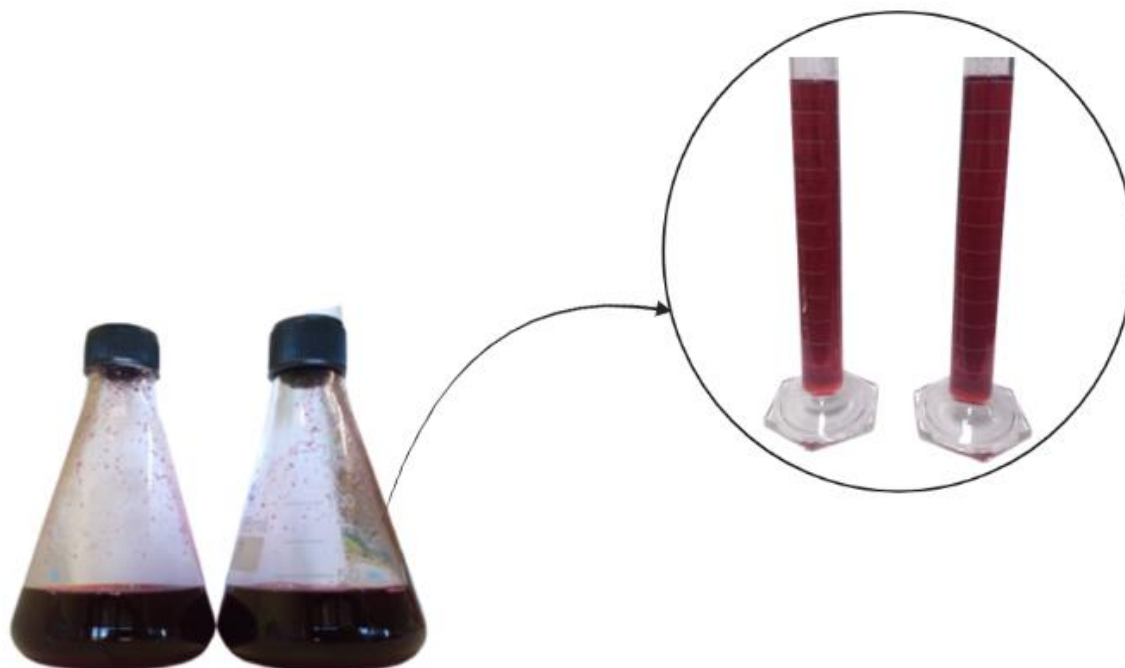


Fonte: Autora (2021)

A moagem e o peneiramento são operações importantes para diminuir e padronizar o tamanho das partículas de casca de jabuticaba. Quanto maior a área de contato das partículas, estas em contato com o solvente arrastarão uma quantidade maior de componentes, resultando na maior recuperação de compostos bioativos (BEZERRA, 2018).

Na Figura 10 são mostrados os extratos obtidos da casca da jabuticaba a partir da extração por ultrassom.

Figura 10 – Extrato obtido a partir da casca da jabuticaba através da técnica de extração por ultrassom



Fonte: Autora (2021)

Os resultados obtidos referentes às análises de compostos fenólicos totais, atividade antioxidante e antocianinas são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados obtidos pelas análises dos extratos

AA	CFT	Antocianinas totais
(%)	(mg GAE.g⁻¹ b.s.)	(mg.100g⁻¹ b.s.)
89,83 ± 0,05	159,43 ± 3,71	2235,37 ± 34,21

Nota: Os dados relatados são valores médios e ± desvio médio.

Fonte: Autores (2021)

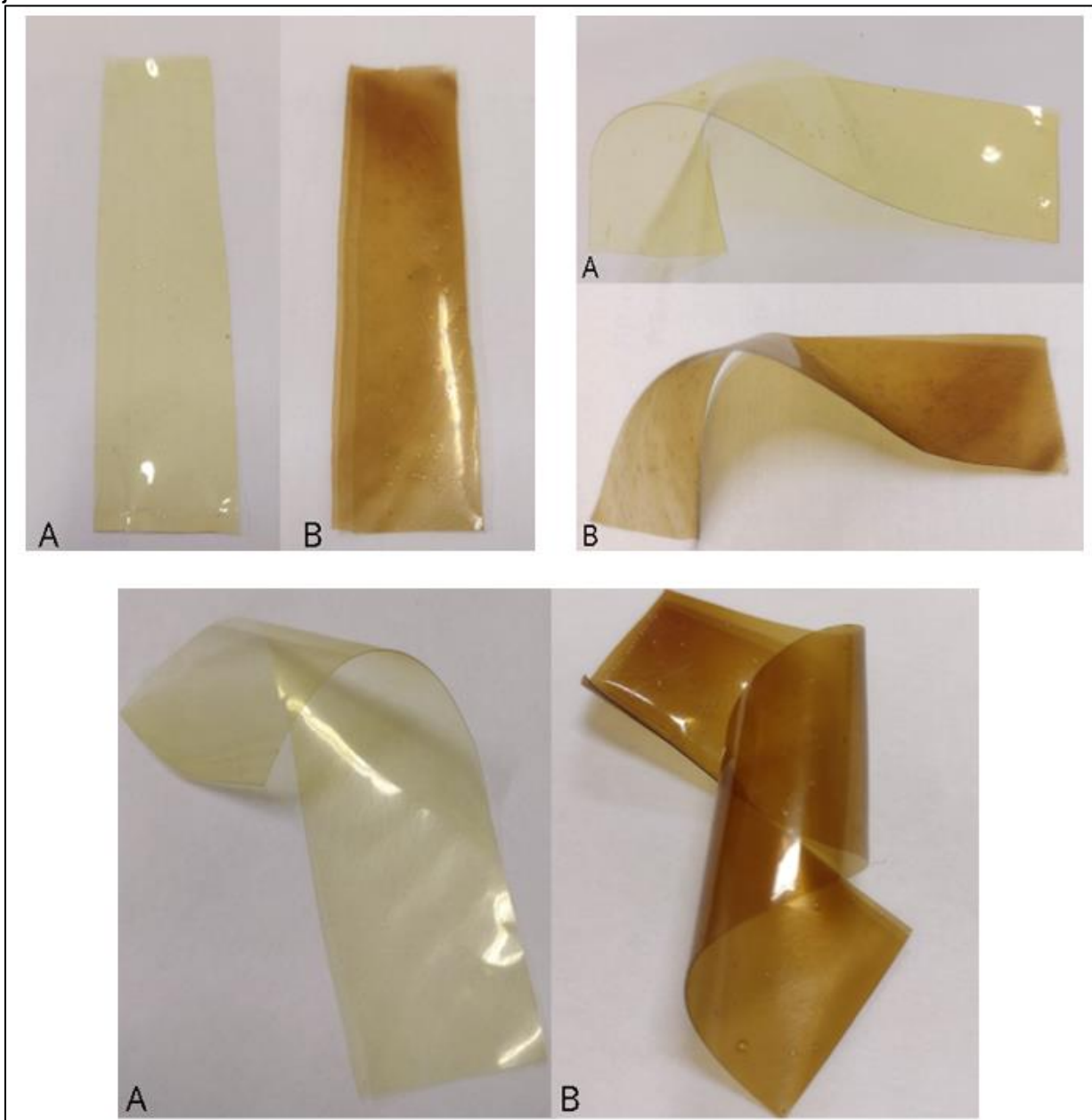
A atividade antioxidante encontrada é semelhante ao reportado por Avila *et al.* (2019) que obtiveram 78,61% de atividade antioxidante para o extrato da casca de jabuticaba liofilizada pelo método de maceração e tempo de 1 h de extração. O teor de compostos fenólicos obtido no presente trabalho foi de 159,43 ± 3,71 mg GAE.g⁻¹ (b.s.). Carvalho (2013) reportou o valor de 131 mg GAE.g⁻¹ (b.s.) para a casca de jabuticaba ao utilizar água como solvente e a técnica de extração por maceração, o que valoriza a utilização da técnica de extração por ultrassom. O teor de antocianinas obtido apresentou o valor de 2235,37±34,21 mg.100g⁻¹ (b. s.). Neves *et*

al. (2019) realizaram o estudo de extração por ultrassom de antocianinas da casca da jaboticaba utilizando a técnica de ultrassom e etanol como solvente e obtiveram o valor de 672,34 mg.100g⁻¹ (b.s.). Desta forma, pode-se observar que a utilização do etanol como solvente empregado apresenta menores valores de recuperação de antocianinas totais. No presente trabalho optou-se pela aplicação da água como solução extratora pela baixa toxicidade e garantia de maior segurança para aplicação em produtos alimentícios.

5.2 Caracterização dos filmes

A Figura 11 apresenta o aspecto visual do filme bicamada controle e com adição de extrato.

Figura 11 – Filme bicamada (A) controle e (B) com adição de extrato de casca de jaboticaba



Fonte: Autora (2021)

Pode-se observar que tanto o controle quanto o adicionado de extrato apresentaram uniformidade e ausência de particulados. O filme com adição do extrato apresentou coloração mais escura. Não foi possível identificar a presença das duas camadas visualmente, indicando assim a aderência entre elas.

Os resultados para a espessura média do filme controle (FBC) e com extrato (FBE) estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados para a análise de espessura média dos filmes

Filme	Espessura média (mm)
FBC	0,136 ± 0,020 ^a
FBE	0,166 ± 0,008 ^b

Nota: Os dados relatados são valores médios e ± desvio médio. Letras diferentes na coluna representam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as médias obtidas pelo teste t de Student.

Fonte: Autora (2021)

A partir dos valores apresentados na Tabela 2 observa-se que houve aumento na espessura quando adicionado o extrato, tal efeito já era esperado visto que a espessura do filme aumenta linearmente com o aumento de massa na solução (SOBRAL, 2000). Peng e Li (2014) obtiveram filmes monocamada de quitosana com espessura semelhante à encontrada no presente estudo, entre 0,077 e 0,105 mm, utilizando 1,2 g de quitosana e variando a adição de diferentes polissacarídeos, como goma xantana e arábica.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para os parâmetros de cor L^* , a^* , b^* e ΔE entre o filme controle e com adição do extrato.

Tabela 3 – Resultados obtidos nas análises colorimétricas dos filmes

Filme	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
FBC	89,23±0,72 ^a	-2,59±0,31 ^a	12,5±2,72 ^a	-
FBE	45,60±2,36 ^b	20,96±2,16 ^b	52,15±1,02 ^b	63,5

Nota: Os dados relatados são valores médios e ± desvio médio. Letras diferentes na coluna representam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as médias obtidas pelo teste t de Student.

Fonte: Autora (2021)

A partir dos dados apresentados na Tabela 3 observou-se que a adição do extrato ocasionou um aumento na presença de cor, uma vez que os valores de L^* se distanciaram de 100 indicando uma coloração mais escura. O valor de a^* para o filme com adição de extrato foi positivo indicando a predominância da cor vermelha e para o parâmetro b^* observou-se o mesmo comportamento, indicando a predominância da cor amarela. A incorporação do extrato causou uma variação total de cor 63,5% em relação ao filme de controle. Avila *et al.* (2020) desenvolveram um filme monocamada biodegradável a base de carragenana e incorporado com extrato da casca da jabuticaba e obteve valores positivos nos parâmetros a^* e b^* e a

diminuição do parâmetro L^* com adição de extrato, bem como o valor de 96,5% de variação na cor em relação ao filme controle.

Os resultados das análises mecânicas realizadas com auxílio do texturômetro para obtenção da tensão máxima (σ) e do alongamento (E) estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados para os ensaios mecânicos dos filmes

Filme	σ (MPa)	E (%)
FBC	11,02 \pm 3,95 ^a	19,0 \pm 4,22 ^a
FBE	4,41 \pm 0,57 ^b	33,21 \pm 4,07 ^b

Nota: Os dados relatados são valores médios e \pm desvio médio. Letras diferentes na coluna representam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as médias obtidas pelo teste t de Student.
Fonte: Autora (2021)

A partir dos valores obtidos foi possível observar que a adição do extrato ao filme influenciou na tensão de ruptura do filme. O mesmo comportamento foi observado no desenvolvimento de filmes monocamada a base de carragenana por Avila *et al.* (2020), houve uma diminuição na tensão máxima de 10,69 \pm 1,61 Mpa para 6,08 \pm 0,33 MPa do filme controle para o filme adicionado do extrato de casca de jabuticaba. Porém, Pereira (2019) reportou o valor de 7,5 \pm 0,60 MPa ao desenvolver um filme monocamada com 1,2 g de quitosana e 0,3 g de glicerol, sendo assim, comparando os filmes FBC com o elaborado pelo autor, o desenvolvimento de um filme bicamada aumenta a tensão necessária para a ruptura do material.

Observou-se ainda um aumento no percentual de alongação ao adicionar o extrato, indicando que sua adição não reduz a alongação do filme. O mesmo foi reportado por Martiny *et al.* (2020), que observaram que a incorporação de extrato conferiu efeito plastificante adicional aos filmes de carragenana adicionados com extrato de folhas de oliveira. Pereira (2019) ao produzir um filme de quitosana monocamada adicionado de extrato de folha de oliveira, reportou o valor de 26,76% de alongação e Guimarães (2018) encontrou valores mais baixos para alongamento, sendo de 4,5%, utilizando 1 g de quitosana para formação de curativos.

Contessa (2021) ao realizar um planejamento experimental desenvolveu nas condições indicadas pela otimização um filme com 0,50 g de ágar-ágar, 0,49 g de quitosana e 0,15 g de glicerol, caracterizando-o quanto à tensão de ruptura e

elongação encontrando valores de $13,57 \pm 2,17$ MPa e $15,51 \pm 2,87$ %, respectivamente.

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos para a análise de solubilidade em água, Índice de intumescimento e permeabilidade ao vapor d'água (PVA) do filme controle e com adição do extrato.

Tabela 5 – Resultados de solubilidade em água, índice de intumescimento e permeabilidade ao vapor d'água

Filme	Solubilidade em água (%)	Índice de intumescimento (%)	PVA x 10 ⁻¹⁰ (g.m ⁻¹ .Pa ⁻¹ .s ⁻¹)
FBC	34,20±1,07 ^a	62,02±3,16 ^a	1,85±2,5
FBE	33,08±0,16 ^a	43,68±4,36 ^b	1,84±1,6

Nota: Os dados relatados são valores médios e \pm desvio médio. Letras diferentes na coluna representam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as médias obtidas pelo teste t de Student.

Fonte: Autora (2021)

Os filmes FBC e FBE apresentaram excelentes resultados para o parâmetro solubilidade em água. Wang *et al.* (2019) apresentaram dados que mostraram que a solubilidade em água do filme monocamada de quitosana é de aproximadamente 55,28%. Através dos valores obtidos foi possível observar que a adição do extrato não interferiu de forma significativa a solubilidade do filme, no entanto, é comum haver o aumento da solubilidade do filme com a adição de extratos naturais, que pode ser explicada pela interação entre os grupos hidroxila presente neles com moléculas de água (BEZERRA, 2018). Sendo assim, o desenvolvimento de filmes bicamada diminui a capacidade de degradação pelo efeito da água, mesmo com a adição do extrato de casca de jaboticaba, um importante fator para a embalagem de alimentos com grande presença de água.

Quanto ao intumescimento, Lee, Shim e Lee (2004) e Horn (2012), relatam que as películas biopoliméricas incham quando absorvem água e em seguida sofrem alterações estruturais que afetam a estrutura interna, podendo influenciar na permeação, por isso, a análise de intumescimento faz-se necessária para se ter uma aplicação eficiente do filme. Os resultados obtidos mostram que o filme controle apresenta maior índice de intumescimento em relação ao filme com adição de

extrato, isso pode ser explicado pelo fato de que ao adicionar o extrato, o filme tornou-se mais espesso, dificultando assim a entrada de água em sua estrutura.

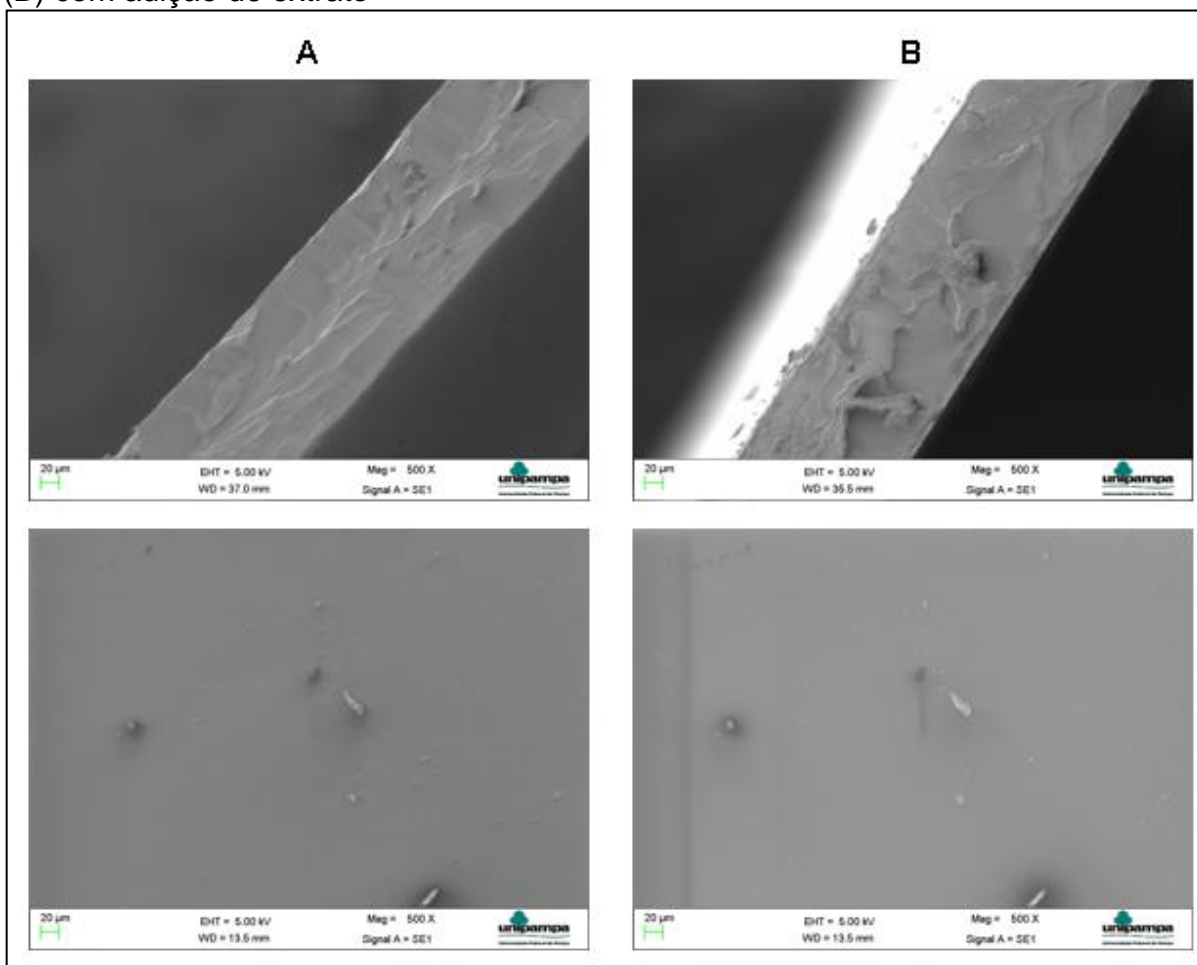
Os valores encontrados neste estudo estão abaixo dos encontrados por Riaz *et al.* (2020) em filmes monocamada de quitosana com extrato de raiz de cebolinha chinesa, onde também observaram uma redução no grau de intumescimento com a adição do extrato, de 57,38% para 40,49%, explicado pela presença de hidroxila (grupos hidrofílicos) na molécula de quitosana. Neto *et al.* (2019), obtiveram um índice de intumescimento final de 230% ao realizar a análise por 24 h em filmes monocamada de quitosana. Em comparação a outros biopolímeros, Wang e Rhim (2015) e Cao, Fu e He (2007) obtiveram altos valores de intumescimento em filmes de ágar-ágar com 236% e gelatina com 400%, respectivamente.

A solubilidade e o intumescimento são propriedades relevantes dos filmes com potencial biodegradável, uma vez que para várias aplicações é necessário conhecer a resistência e o comportamento do material junto à água. A solubilidade informa sobre a quantidade de material hidrossolúvel presente nos filmes e o índice de intumescimento está diretamente relacionado com a solubilidade, sendo um parâmetro importante para o conhecimento das características gerais de um material (LEE; SHIM; LEE, 2004).

Em relação à permeabilidade ao vapor d'água, a adição do extrato não interferiu neste parâmetro. Tomadoni *et al.* (2019) obtiveram valores de PVA para filmes monocamada de quitosana entre $2,86 \cdot 10^{-10}$ e $4,01 \cdot 10^{-10}$ $\text{g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$, estando os valores encontrados dentro do esperado e conforme a classificação proposta por Krochta e De Mulder Johnson (1997) os filmes obtidos apresentaram PVA moderada.

A Figura 12 mostra as micrografias eletrônicas de varredura dos filmes bicamada.

Figura 12 – Imagens de MEV da seção transversal do filme bicamada (A) controle e (B) com adição de extrato



Fonte: Autora (2021)

Todos os filmes apresentaram superfície homogênea, indicando boa miscibilidade entre os constituintes. Entretanto, através das imagens de microscopia da superfície dos filmes é possível observar a presença de grumos, os quais são bolhas presentes devido à dificuldade de eliminação das mesmas no processo de dissolução da quitosana. Além disso, pode-se observar a ocorrência do processo de fundição das duas camadas, sendo assim, não é possível observar a divisão delas. Isso pode ser explicado pelo fato de que as duas camadas são formadas pelo mesmo biopolímero. Neto *et al.* (2019), desenvolveram um filme bicamada composto por quitosana e *glucomanano konjac* e observaram através da micrografia de seção transversal uma interface bem definida entre as camadas, com separação das fases, sugerindo que a morfologia de cada polímero foi preservada.

Visto isso, de maneira geral, os filmes elaborados neste estudo exibiram características que os tornam potenciais materiais para serem usados como embalagens para alimentos.

6 CONCLUSÃO

A extração dos compostos bioativos por ultrassom utilizando água acidificada (pH 1) como solvente apresentou-se satisfatória, visto que os valores de atividade antioxidante e compostos fenólicos totais foram próximos a valores apresentados pela literatura. A concentração de antocianinas totais apresentou excelente recuperação, assim mostra-se que o uso de água como solvente extrator é eficaz. A partir da condição utilizada no processo de 88 °C e tempo de 1 min, obteve-se um resultado de $89,83 \pm 0,05$ % de atividade antioxidante, $159,43 \pm 3,71$ mg GAE.g⁻¹ (b.s.) de compostos fenólicos totais e $2235,37 \pm 34,21$ mg.100g⁻¹ (b.s.) para o teor de antocianinas totais.

Para o desenvolvimento dos filmes multicamada, o emprego da técnica de *casting* mostrou-se satisfatório. Foi possível obter filmes homogêneos e de fácil remoção das placas, tanto o controle quanto o adicionado de extrato apresentaram uniformidade e ausência de particulados, contudo, a presença de bolhas é indesejável, sendo necessário o emprego de metodologias alternativas para remoção das mesmas da solução filmogênica como uma etapa anterior a formação dos filmes na estufa.

A caracterização dos filmes produzidos a partir da quitosana com a adição do extrato apresentou uma variação de 63,5% em relação ao controle. A espessura do filme após a adição do extrato aumentou, sendo 0,136 mm a espessura do filme controle e 0,166 mm a espessura do filme com extrato. Foi possível observar também que, a incorporação do extrato não causou um impacto significativo nos resultados de permeabilidade ao vapor de água e solubilidade em água, entretanto, essa adição foi capaz de diminuir o parâmetro índice de intumescimento de 62,02% do filme controle para 43,68% do filme com extrato. A adição do extrato diminuiu a tensão de ruptura do filme, enquanto o percentual de alongação aumentou de 19% para 33,21% do filme controle em relação ao filme com extrato.

De maneira geral, os filmes multicamada elaborados neste estudo exibiram características que os tornam potenciais materiais a embalagem de alimentos. Com interessantes características mecânicas e capacidade de embalagem de alimentos ricos em água.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como proposta para trabalhos futuros indica-se o estudo do potencial antimicrobiano do extrato. Também se propõe o estudo do emprego de metodologias para a redução e remoção de bolhas após o processo de dissolução da quitosana, bem como estudar a melhor concentração de extrato no filme, buscando melhorar as suas características bem como avaliar a ação antioxidante e antimicrobiana dos filmes quando aplicados em alimentos.

REFERÊNCIAS

- ADILAH, M., HANANI, Z. A. Active packaging of fish gelatin films with *Morinda citrifolia* oil. **Food Bioscience**, Amsterdam, v. 16, p. 66-71, 2016. Disponível em: <http://psasir.upm.edu.my/id/eprint/54962/>. Acesso em: 13 mar. 2021.
- AGULLÓ, E. *et al.* Present and future role of chitin and chitosan in food. **Macromolecular Bioscience**, New Jersey, v. 3, n. 10, p. 521–530, 2003. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/mabi.200300010>. Acesso em: 13 mar. 2021.
- ALMEIDA, A. S. **Obtenção e caracterização de nanocompósitos de poli(l-lactídeo) e nanopartículas de argila sódica, argilas organofílicas e óxidos de sílica**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Polímeros) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-05082009-165838/publico/Obtencao_e_Caracterizacao_de_Poliestireno_e_Argilas_Esme.pdf. Acesso em: 29 abr. 2021.
- ALVES, R. C. **Análise do efeito antimicrobiano de extrato de folhas de oliveira (*Olea europaea* L.) e aplicação em biofilmes para proteção de alimentos**. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia química) - Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé, Bagé, 2015. [No prelo].
- AMARAL, A. B., SILVA, M. V., LANNES, S. C. S. Lipid oxidation in meat: mechanisms and protective factors – a review. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 38, n. 1, p. 1-15, 2018. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612018000500001. Acesso em: 13 mar. 2021.
- AMARANTE, C. V. T.; BANKS, N.; GANESH, S. Relationship between character of skin cover of coated pears and permeance to water vapour and gases. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 21, n. 3, p. 291-301, 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/248449318_Relationship_between_character_of_skin_cover_of_coated_pears_and_permeance_to_water_vapor_and_gases. Acesso em: 13 mar. 2021.
- ANDRADE, M. A. *et al.* Characterization of rosemary and thyme extracts for incorporation into a whey-protein based film. **LWT Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 92, p. 497-508, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643818301804>. Acesso em: 13 mar. 2021.
- ANGELO, P. M., JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos - uma breve revisão. **Revista do Instituto Adolfo Lutz (Impresso)**, São Paulo, v. 66, n. 1, p. 1-9, 2007. Disponível em: http://periodicos.ses.sp.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0073-98552007000100001&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 24 mar. 2021.

ANUKIRUTHIKA, T. *et al.* Multilayer packaging: Advances in preparation techniques and emerging food applications. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, Chicago, v. 19, p. 1156–1186, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12556>. Acesso em: 11 abr. 2021

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO 534**: Papel e cartão: determinação da espessura, densidade e volume específico. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASTM - American Society for Testing and Materials. **D882-18**: Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting, 2018.

ASTM - American Society for Testing and Materials. **ASTM E96/E96-16**: Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials, 2016.

ATARÉS, L., CHIRALT, A. Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. **Trends in Food Science & Technology**, Amsterdam, v. 48, p. 51-62, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224415300960>. Acesso em: 13 mar. 2021.

AVÉROUS, L.; POLLET, E. Biodegradable polymers. **Green Energy and Technology**, London, v. 50, p. 13-39, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/256974905_Green_Energy_and_Technology. Acesso em: 13 mar. 2021.

AVILA, L. B. *et al.* **Extração de compostos bioativos da casca da jaboticaba (*Plinia cauliflora*) liofilizada: análise da influência da temperatura de extração e pH do solvente**. XXXIX Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados ENEMP 2019, 2019, Belém. Anais eletrônicos. Campinas, Galoá, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/enemp-2019/papers/extracao-de-compostos-bioativos-da-casca-da-jaboticaba--plinia-cauliflora--liofilizada--analise-da-influencia-da-tempera>. Acesso em: 01 out. 2021.

AVILA, L. B. *et al.* Carrageenan-based films incorporated with jaboticaba peel extract: an innovative material for active food packaging. **Molecules**, New Jersey, v. 25, n. 23, p. 55-63. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/25/23/5563>. Acesso em: 18 ago. 2021.

BARRETO, E. R. C. *et al.* **Comparação entre os métodos de extração de compostos bioativos presentes em resíduos de jaboticaba (*Plinia cauliflora*)**. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 11, n. 2, 2019. Disponível em: <https://periodicos.unipampa.edu.br/index.php/SIEPE/issue/view/312>. Acesso em: 14 ago. 2021.

BASEGGIO, A. M. *et al.* Jaboticaba peel extract suppress autophagy in White adipose tissue and prevents metabolic disorders in mice fed with a high-fat-diet. **Pharma Nutrition**, Amsterdam, v. 6, p. 147 – 156, 2018. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/331910>. Acesso em: 27 abr. 2021.

BATISTA, J. T. S. **Estudo de filmes biodegradáveis de proteínas miofibrilares extraídas de subproduto da Dourada (*Brachyplatystoma roussauxii*) com adição de quitosana**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Pará. Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Belém, 2016. <http://ppgcta.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2016/JAIRA%20THAYSE.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2021.

BEZERRA, A. C. **Filmes de quitosana com extrato de hortelã-pimenta (*Mentha piperita* L.) para aplicação em massa brisseé**. 2018. Dissertação (Mestrado em ciência e tecnologia de alimentos) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Recife, 2018. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede/handle/tede2/7354>. Acesso em: 17 set. 2021.

BONILLA, J., SOBRAL, P. J. A. Investigation of the physicochemical, antimicrobial and antioxidant properties of gelatin-chitosan edible film mixed with plant ethanolic extracts. **Food Bioscience**, Amsterdam, v. 16, p. 17-25, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212429216300499>. Acesso em: 13 mar. 2021.

BRAND-WILLIAMS, W., CUVELIER, M. E., BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 28, p. 25–30, 1995. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643895800085>. Acesso em: 25 abr. 2021.

BRODY, A. L. *et al.* Innovative food packaging solutions. Scientific status summary. **Journal of Food Science**, New Jersey, v. 73, n. 8, p. 1750-3841. 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/303073859_Innovative_food_packaging_solutions_Scientific_status_summary. Acesso em: 24 mar. 2021.

BUNHAK, E. J. *et al.* Influência do sulfato de condroitina na formação de filmes isolados de polimetacrilato: avaliação do índice de intumescimento e permeabilidade ao vapor d'água. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 312-317, 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422007000200014&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 26 abr. 2021.

CAO, N., FU, Y. e HE, J. Mechanical properties of gelatin films cross-linked, respectively, by ferulic acid and tannin acid. **Food Hydrocolloids**, Amsterdam, v. 21, n. 4, p. 575-584, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X06001329>. Acesso em: 26 set. 2021.

CAROCHO, M., MORALES, P., FERREIRA, I. C. F. R. Natural food additives: Quo vadis. **Trends in Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 45, p. 284-295. 2015. Disponível em: <https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/12417>. Acesso em: 13 mar. 2021.

CARVALHO, G. G. **Propriedades antioxidantes e sensoriais de barras de cereais convencionais e light adicionadas de casca de jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*)**. 2013. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Estadual de Campinas. Programa de Pós Graduação em Alimentos e Nutrição. Campinas, 2013. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/255065>. Acesso em: 15 ago. 2021.

CAVALCANTI, R. N.; VEGGI, P. C.; MEIRELES, M. A. A. Supercritical fluid extraction with a modifier of antioxidant compounds from jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) by products: economic viability. **Procedia Food Science**, Amsterdam, v. 1, n. 1, p. 1672-1678. 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211601X11002483>. Acesso em: 13 mar. 2021.

CHALKER-SCOTT, L. Environmental significance of anthocyanins in plant stress responses. **Photochemistry and Photobiology**, New Jersey, v. 70, n. 1, p. 1-9. 1999. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1751-1097.1999.tb01944.x>. Acesso em: 24 mar. 2021.

CINELLI, P. *et al.* Whey protein layer applied on biodegradable packaging film to improve barrier properties while maintaining biodegradability. **Polymer Degradation and Stability**, Amsterdam, v. 108, p. 151-157, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2014.07.007>. Acesso em: 13 mar. 2021.

CONTESSA, C. R. **Bioplástico de quitosana/ágar-ágar incorporado com bacteriocina obtida de matriz alimentar para aplicação como embalagem ativa**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Pampa. Programa de pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Bagé, 2021. Disponível em: <http://dspace.unipampa.edu.br/>. Acesso em: 29 abr. 2021.

CORBIN, C. *et al.* Development and validation of an efficient ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from flax (*Linum usitatissimum L.*) seeds. **Ultrason Sonochem**, Amsterdam, v. 26, p. 176-185, 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25753491/>. Acesso em: 05 maio 2021.

CUQ, B. *et al.* Edible packaging films based on fish myofibrillar proteins: formulation and functional properties. **Journal of Food Science**, New Jersey, v. 60, n. 6, p. 1369-1374, 1995. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1995.tb04593.x>. Acesso em: 02 mar. 2021.

CYRAS, V. P.; SOLEDAD, C. M. A.; ANALÍA, V. Biocomposites based on renewable resource: acetylated and non acetylated cellulose cardboard coated with polyhydroxybutyrate. **Polymer**, Amsterdam, v. 50, p. 6274-6280, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032386109009550>. Acesso em: 26 abr. 2021.

DAINELLI, D. *et al.* Active and intelligent food packaging: Legal aspects and safety concerns. **Trends in Food Science & Technology**, Amsterdam, v. 19, n. 1, p. 103-112, 2008. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201301563857>. Acesso em: 13 mar. 2021.

DUTTA, P. K. *et al.* Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 114, n. 4, p. 1173-1182, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814608013629>. Acesso em: 13 mar. 2021.

FARIA, G. S. *et al.* Caracterização química da casca de jabuticaba (*Myrciaria jabuticaba*) liofilizada e sua aplicação em leite fermentado potencialmente simbiótico. **Jornal de Ciências Biomédicas e Saúde**, Uberaba, v. 2, n. 1, p. 90–97, 2016. Disponível em: <https://sumarios.org/artigo/caracteriza%C3%A7%C3%A3o-qu%C3%ADmica-da-casca-de-jabuticaba-myrciaria-jabuticaba-liofilizada-e-sua>. Acesso em: 02 mar. 2021.

GERRARD, J. A. Protein–protein crosslinking in food: methods, consequences, applications. **Trends in Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 13, n. 12, p. 391–399, 2002. Disponível em: <https://europepmc.org/article/AGR/IND43619892>. Acesso em: 13 mar. 2021.

GOFFIN, A. L. *et al.* From interfacial ring-opening polymerization to melt processing of cellulose nanowhisker-filled polylactide-based nanocomposites. **Biomacromolecules**, Washington, DC, v. 12, n. 7, p. 2456–2465, 2011. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/bm200581h>. Acesso em: 24 mar. 2021.

GÓMEZ-ESTACA, J. *et al.* Encapsulation of an astaxanthin-containing lipid extract from shrimp waste by complex coacervation using a novel gelatin–cashew gum complex. **Food Hydrocolloids**, Amsterdam, v. 61, p. 155–162, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/302554196_Encapsulation_of_an_astaxanthin-containing_lipid_extract_from_shrimp_waste_by_complex_coacervation_using_a_novel_gelatin-cashew_gum_complex. Acesso em: 13 mar. 2021.

GONTARD, N. *et al.* Edible composite film of wheat gluten and lipids-water vapor permeability and other physical properties. **International Journal of Food Science and Technology**, New York, v. 29, n. 1, p. 39-50, 1994. Disponível em: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1994.tb02045.x>. Acesso em: 25 abr. 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**, Brasília, DF, v. 30, n. 1, p. 3-15, 1996. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=BR19970042167>. Acesso em: 24 mar. 2021.

GUIMARÃES, A. A. S. **Hidrogéis à base de quitosana/poli (álcool vinílico) para liberação de fármaco visando uso potencial como curativo**. 2018. 180 f. Tese

(Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal da Paraíba. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, João Pessoa, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/13408>. Acesso em: 3 jul. 2021.

GUNISTER, E. *et al.* Synthesis and characterization of chitosan-MMT biocomposite systems. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 67, n. 3, p. 358-365, 2007. Disponível em: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-1e31cb69-71c1-3285-a1c0-ff6ecd97278e>. Acesso em: 29 abr. 2021.

HAN, Y.; YU, M.; WANG, L. Physical and antimicrobial properties of sodium alginate/carboxymethyl cellulose films incorporated with cinnamon essential oil. **Food Packaging and Shelf Life**, Amsterdam, v. 15, p. 35-42, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214289416301387>. Acesso em: 13 mar. 2021.

HURRELL, R. F. Influence of vegetable protein source on trace elements and mineral bioavailability. **Journal of Nutrition**, Oxford, v. 133, n. 9, p. 29735-29775, 2003. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12949395/>. Acesso em: 2 mar. 2021.

KAISER, K.; SCHMID, M.; SCHLUMMER, M. Recycling of polymer based multilayer packaging: A review. **Recycling**, Basel, v. 3, n. 1, p. 1-26, 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2313-4321/3/1/1>. Acesso em: 13 mar. 2021.

KHAN, B. *et al.* Thermoplastic starch: a possible biodegradable food packaging material—a review. **Journal of Food Process Engineering**, Alemanha, v. 40, p. 1-17, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/jfpe.12447>. Acesso em: 26 abr. 2021.

KONG, J. M. *et al.* Analysis and biological activities of anthocyanins. **Phytochemistry**, Amsterdam, v. 64, n. 5, p. 923-33, 2003. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14561507/>. Acesso em: 21 abr. 2021.

KROCHTA, J. M.; MULDER-JOHNSTON, C. Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. **Food Technology**, Chicago, v. 51, n. 2, p. 61-74, 1997. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9729236>. Acesso em: 13 mar. 2021.

LAVORGNA, M. *et al.* Study of the combined effect of both clay and glycerol plasticize on the properties of chitosan films. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 82, n. 2, p. 291-298, 2010. Disponível em: https://www.academia.edu/19717245/Study_of_the_combined_effect_of_both_clay_and_glycerol_plasticizer_on_the_properties_of_chitosan_films. Acesso em: 29 abr. 2021.

LEE, K. Y., SHIM, J. e LEE, H.G. Mechanical properties of gellan and gelatin composite films. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 56, p. 51-54, 2004. Disponível em: <https://hanyang.elsevierpure.com/en/publications/mechanical-properties-of-gellan-and-gelatin-composite-films>. Acesso em: 30 set. 2021.

LICCIARDELLO, F. Packaging, blessing in disguise. Review on its diverse contribution to food sustainability. **Trends in Food Science & Technology**, Amsterdam, v. 65, p. 32-39, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/316834162_Packaging_blessing_in_disguise_Review_on_its_diverse_contribution_to_food_sustainability. Acesso em: 21 mar. 2021.

LIMA, R. S. C. **Desenvolvimento de sistemas de liberação controlada de fármacos: quitosana/insulina**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos, Campina Grande, 2010. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/1692>. Acesso em: 21 mar. 2021.

MARTINS, S. *et al.* Bioactive phenolic compounds: Production and extraction by solid-state fermentation. A review. **Biotechnology Advances**, Amsterdam, v. 29, n. 3, p. 365-373, 2011. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21291993/>. Acesso em: 13 mar. 2021.

MARTINY, T. R. *et al.* A novel biodegradable film based on κ -carrageenan activated with olive leaves extract. **Food Science and Nutrition**, Nova Jérсия, v. 8, n. 7, p. 3147– 3156, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fsn3.1554>. Acesso em: 21 abr. 2021.

MITRUS, M.; WOJTOWICZ, A.; MOSCICKI, L. Thermoplastic starch: biodegradable polymers and their practical utility. *In*: JANSSEN, L. P. B. M.; MOSCICKI, L. (Eds.). **Thermoplastic Starch**. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009. p. 272. Disponível em: http://www.agriculturalengineering.actapol.net/pub/5_1_19.pdf. Acesso em: 13 mar. 2021

MOHARRAM, H.; YOUSSEF, M. M. Methods for determining the antioxidant activity: a review. **Alexandria Journal of Food Science and Technology**, Alexandria, v. 11, n. 1, p. 31-42, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/274669600_Methods_for_Determining_the_Antioxidant_Activity_A_Review. Acesso em: 13 mar. 2021.

MORAES, M., SILVA, C., VIEIRA, R. **Biopolymer membranes and films: Health, Food, Environment, and Energy Applications**. Amsterdam: Elsevier, 2020.

MOREIRA, F. S. **Biofilmes produzidos a partir de fécula de mandioca e extrato de butiá para utilização como embalagem para alimentos**. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia química) - Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé, Bagé, 2019. [No prelo].

NARAYANAN, M. *et al.* UV protective poly (lactic acid)/rosin films for sustainable packaging. **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam, v. 99, p. 37-45, 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28212931/>. Acesso em: 20 mar. 2021.

NETO, R. J. G. *et al.* Characterization and in vitro evaluation of chitosan/konjac glucomannan bilayer film as a wound dressing. **Carbohydrate Polymers**, Amsterdam, v. 212, p. 59-66, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861719301596?via%3Di> hub. Acesso em: 09 set. 2021.

NEVES, L. S. S. e SANTOS, R. P. **Extração de antocianinas da casca de jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba* Berg.) assistida por ultrassom**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Inhumas, Goiás, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/227/1/tcc%20%20LAYLLA%20E%20RODRIGO.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2021.

NISA, I. *et al.* Development of potato starch based active packaging films loaded with antioxidants and its effect on shelf life of beef. **Journal of Food Science and Technology**, New York, v. 52, p. 7245-7253, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-015-1859-3#citeas>. Acesso em: 13 mar. 2021.

NIU, X. *et al.* Preparation and characterization of biodegradable composited films based on potato starch/glycerol/gelatin. **Journal of Food Quality**, London, v. 2021, p. 1-11, 2021. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/jfq/2021/6633711/>. Acesso em: 26 abr. 2021.

OLIVEIRA, A. K. *et al.* Caracterização tecnológica de jaboticabas “Sabará” provenientes de diferentes regiões de cultivo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 397-400, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbf/v25n3/18652.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2021.

PARK, H. Y. *et al.* development of antioxidant packaging material by applying cornzein to LLDPE film in combination with phenolic compounds. **Journal of Food Science**, New Jersey, v. 77, n. 10, p. E273-E279, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02906.x>. Acesso em: 13 mar. 2021.

PEELMAN, N. *et al.* Application of bioplastics for food packaging. **Trends in Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 32, n. 2, p. 128-141, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/259135388_Application_of_bioplastics_for_food_packaging. Acesso em: 13 mar. 2021.

PENG, Y. e Li, Y. Combined effects of two kinds of essential oils on physical, mechanical and structural properties of chitosan films. **Food Hydrocolloids**, Amsterdam, v. 36, p.287-293. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.10.013>. Acesso em: 04 set. 2021.

PIMENTEL, C. V. M. B.; FRANCKI, V. M.; GOLLÜCKE, A. P. B. **Alimentos funcionais**: introdução às principais substâncias bioativas em alimentos. São Paulo: Varela, 2005.

POJER, E. *et al.* The case for anthocyanin consumption to promote human health: a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, New Jersey, v. 12, n. 5, p. 1541-4337, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/260727282_The_Case_for_Anthocyanin_Consumption_to_Promote_Human_Health_A_Review. Acesso em: 13 maio 2021.

PRODPRAN, T.; BENJAKUL, S.; ARTHARN, A. Properties and microstructure of protein-based film from round scad (*Decapterus maruadsi*) muscle as affected by palm oil and chitosan incorporation. **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam, v. 41, n. 5, p. 605-614, 2007. Disponível em: <https://europepmc.org/article/med/17868827>. Acesso em: 13 maio 2021.

RAMBABU, K. *et al.* Mango leaf extract incorporated chitosan antioxidant film for active food packaging. **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam, v. 126, p. 1234–1243, 2019. Disponível em: Acesso em: 21 abr. 2021.

RIAZ, A. *et al.* Preparation and characterization of chitosan-based antimicrobial active food packaging film incorporated with apple peel polyphenols. **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam, v. 114, p. 547-555, 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29578019/>. Acesso em: 26 abr. 2021.

RIBEIRO-SANTOS, R. *et al.* Use of essential oils in active food packaging: recent advances and future trends. **Trends in Food Science & Technology**, Amsterdam, v. 61, p. 132–140, 2017. Disponível em: <https://europepmc.org/article/AGR/IND605613287>. Acesso em: 13 maio 2021.

ROBERTSON, G. L. **Food Packaging: principles and practice**. 3. ed., Boca Raton: CRC Press, 2012.

ROUSE, J. G.; VAN DYKE, M. E. A Review of Keratin-Based Biomaterials for Biomedical Applications. **Materials**, Suíça, v. 3, p. 999-1014, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma3020999>. Acesso em: 26 abr. 2021.

ROSA, G. S. da *et al.* Development of Biodegradable Films with Improved Antioxidant Properties Based on the Addition of Carrageenan Containing Olive Leaf Extract for Food Packaging Applications. **Journal of Polymers and the Environment**, [S. l.], n. 0123456789, out. 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10924-019-01589-7>. Acesso em: 06 maio 2021.

ROSA, G. S. da *et al.* Comparison of microwave, ultrasonic and conventional techniques for extraction of bioactive compounds from olive leaves (*Olea europaea* L.). **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, [S. l.], p. 102234, dez. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1466856418305332?via%3Dihub>. Acesso em: 06 maio 2021.

SANTOS, J. E.; SOARES, J. P.; DOCKAL, E. R. Caracterização de quitosanas comerciais de diferentes origens. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v.

13, n. 4, p. 242–249, 2003. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14282003000400009&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 13 maio 2021.

SEMENSATO, L. R. *et al.* Effects of exogenous applications of gibberellic acid on the development and quality of jaboticaba fruits. **Revista Colombiana de Ciências Hortícolas**, Colômbia, v. 14, p. 355–360, 2020. Disponível em: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_horticolos/article/view/10808. Acesso em: 25 abr. 2021.

SHAHIDI, F, ARACHCHI, J. K. V, JEON, Y. J. Food applications of chitin and chitosans. **Trends in Food Science and Technology**, Amsteden, v. 10, p. 37–51, 1999. Disponível em: <https://foodityourself.files.wordpress.com/2017/01/1999-shahidi-et-al.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2021.

SHAW, N. B, MONAHAN, F. J, O'RIORDAN, E. D, O'SULLIVAN, M. Physical properties of WPI films plasticized with glycerol, xylitol, or sorbitol. **Journal of Food Science**, New Jersey, v. 67, p. 164-167, 2002. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.2002.tb11377.x>. Acesso em: 25 abr. 2021.

SINGLETON, V. L., ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, California, v. 16, p. 144–158, 1965. Disponível em: <https://www.ajevonline.org/content/16/3/144>. Acesso em: 25 abr. 2021.

SIRACUSA, V. *et al.* Biodegradable polymers for food packaging: a review. **Trends in Food Science & Technology**, Amsterdam, v. 19, n. 12, p. 634–643, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224408002185>. Acesso em: 13 maio 2021.

SOBRAL, P. J. A. Influência da espessura de biofilmes feitos à base de proteínas miofibrilares sobre suas propriedades funcionais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasil, v. 35, n. 6, p. 1251-1259, 2000. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2000000600022&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em 01 set. 2021.

TANAKA, Y.; SASAKI, N.; OHMIYA, A. Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. **The Plant Journal**, New Jersey, v. 54, n. 4, p. 733-749, 2008. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-313X.2008.03447.x>. Acesso em: 14 maio 2021.

TETRA PAK INTERNATIONAL. Packaging material for Tetra Pak carton packages. Lausanne: Tetra Pak, 2020. Disponível em: <https://www.tetrapak.com/packaging/materials>. Acesso em: 14 maio 2021.

THARANATHAN, R. N. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. **Trends in Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 14, p.71-78, 2003. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/222225009_Biodegradable_films_and_composite_coatings_Past_present_and_future. Acesso em: 25 abr. 2020.

TOMADONI, B. *et al.* Vanillin as a natural cross-linking agent in chitosan-based films: Optimizing formulation by response surface methodology. **Polymer Testing**, v. 78, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/333876233_Vanillin_as_a_natural_cross-linking_agent_in_chitosan_based_films_Optimizing_formulation_by_response_surface_methodology/citation/download. Acesso em: 24 jul. 2021.

VIEITES, R. L. *et al.* Caracterização físico-química, bioquímica e funcional da jaboticaba armazenada sob diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 2, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452011000200006&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 13 maio 2021.

WANG, H. *et al.* Preparation and characterization of multilayer films composed of chitosan, sodium alginate and carboxymethyl chitosan-ZnO nanoparticles. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 283, p. 397-403, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814619300895>. Acesso em: 11 abr. 2021.

WANG, L. F. e RHIM, J. W. Preparation and application of agar/alginate/collagen ternary blend functional food packaging films. **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam, v. 80, p. 460-468, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.07.007>. Acesso em: 25 set. 2021.

WANG, L. *et al.* Preparation and characterization of active films based on chitosan incorporated tea polyphenols. **Food hydrocolloids**, Amsterdam, v. 32, n. 1, p. 35-41, 2013. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201900090628>. Acesso em: 04 maio 2021.

XIONG, R. *et al.* Naturally-derived biopolymer nanocomposites: Interfacial design, properties and emerging applications. **Materials Science and Engineering**, Amsterdam, v. 125, p. 1-41, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927796X18300184>. Acesso em: 26 abr. 2021.

ZAVAREZE, E. R; MELLO S. L; HERNÁNDEZ, T. C. Filmes biodegradáveis à base de proteínas miofibrilares de pescado. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. IV SSA, p. 53-57, 2012. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/bjft/v15nspe/aop_15e0109.pdf. Acesso em: 13 maio 2021.