

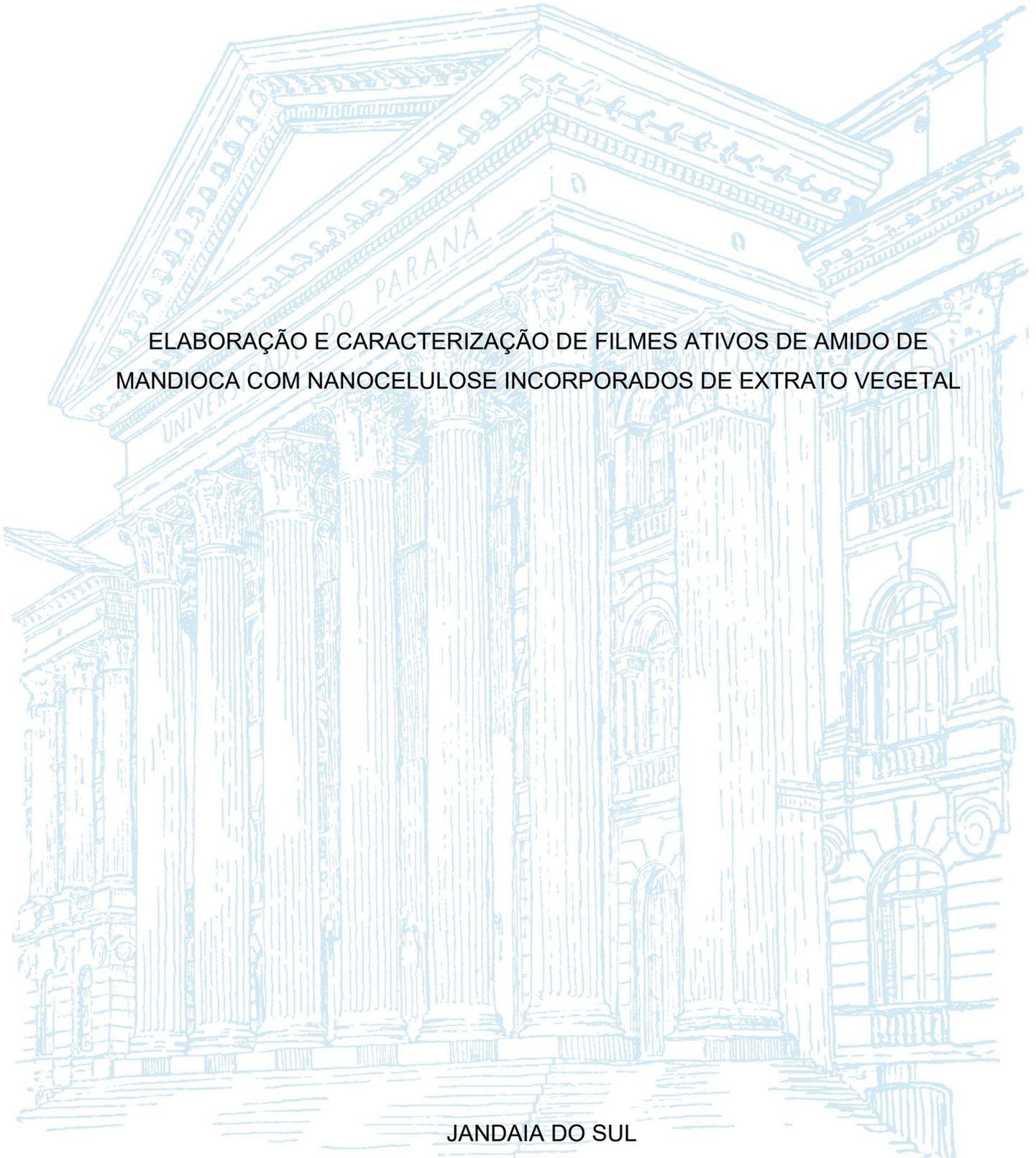
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BEATRIZ SANTOS ROCHA

ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES ATIVOS DE AMIDO DE  
MANDIOCA COM NANOCELULOSE INCORPORADOS DE EXTRATO VEGETAL

JANDAIA DO SUL

2024



BEATRIZ SANTOS ROCHA

ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES ATIVOS DE AMIDO DE  
MANDIOCA COM NANOCELULOSE INCORPORADOS DE EXTRATO VEGETAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Engenharia de Alimentos da  
Universidade Federal do Paraná como requisito  
parcial à obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Leomara Floriano Ribeiro

Coorientadora: Profa. Dra. Luana Carolina  
Bosmuler Züge

JANDAIA DO SUL

2024

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA JANDAIA DO SUL

Rocha, Beatriz Santos

Elaboração e caracterização de filmes ativos de amido de mandioca com nanocelulose incorporados de extrato vegetal. / Beatriz Santos Rocha. – Jandaia do Sul, 2024.  
1 recurso on-line : PDF.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Paraná, Campus Jandaia do Sul, Graduação em Engenharia de Alimentos.  
Orientadora: Profa. Dra. Leomara Floriano Ribeiro.  
Coorientadora: Profa. Dra. Luana Carolina Bosmuler Züge.

1. Validade. 2. Compostos bioativos. 3. Polissacarídeos. 4. Nanomateriais. 5. Propriedades de barreira. I. Ribeiro, Leomara Floriano. II. Universidade Federal do Paraná. III. Título.

CDD: 664

Bibliotecário: César A. Galvão F. Conde - CRB-9/1747



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

**PARECER Nº** 349/2024/UFPR/R/JA  
**PROCESSO Nº** 23075.071163/2021-31  
**INTERESSADO:** COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

### **TERMO DE APROVAÇÃO**

**BEATRIZ SANTOS ROCHA**

### **"ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES ATIVOS DE AMIDO DE MANDIOCA COM NANOCELULOSE INCORPORADOS DE EXTRATO VEGETAL"**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos no curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Paraná, Aprovado pela seguinte banca examinadora:

Orientadora: Dra. Leomara Floriano Ribeiro  
Curso de Engenharia de Alimentos, UFPR

Dr. Daniel Angelo Longhi  
Curso de Engenharia de Alimentos, UFPR

Dra. Dirlei Diedrich Kieling  
Curso de Engenharia de Alimentos, UFPR

Jandaia do Sul, 17 de junho de 2024

---



Documento assinado eletronicamente por **LEOMARA FLORIANO RIBEIRO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/06/2024, às 10:56, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.

---



Documento assinado eletronicamente por **DANIEL ANGELO LONGHI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/06/2024, às 10:56, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.

---



Documento assinado eletronicamente por **DIRLEI DIEDRICH KIELING, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/06/2024, às 10:58, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.

---



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **6724789** e o código CRC **7A96A91E**.

---

## AGRADECIMENTOS

À Deus por sempre estar presente em minha vida, me guiando pelos melhores caminhos.

À minha mãe, Mikaelly dos Santos, pelo apoio e incentivo durante toda a minha vida e especialmente nesses anos de graduação, por nunca medir esforços para que eu conquistasse meus sonhos. Você é sempre será minha motivação para continuar buscando o melhor para mim e por nós. Ao meu pai, Alex da Rocha, por todo apoio, incentivo e conselhos que fazem parte da minha vida e que sempre levarei comigo.

Aos meus queridos amigos, Cassiane Franco, Giorgia Cavazim, Pedro Graciliano, Luísa Toresan e Julia Batista que fizeram parte dessa jornada, compartilhando momentos e tornando os dias mais leves. À minha “irmã” de faculdade Joanna Tamashiro por estar ao meu lado desde o primeiro dia de aula, por toda amizade, parceria e noites de estudos com macetes inventados por nós para decorar o conteúdo. Levarei a amizade de vocês para a vida.

Às minhas professoras orientadoras, Leomara Floriano Ribeiro e Luana Carolina Bosmuler Züge, por aceitarem me orientar e por toda dedicação. Em especial a Profa. Luana que me orientou também em projeto de IC com ideias criativas assim como neste trabalho.

Aos professores, Dirlei Diedrich Kieling e Daniel Angelo Longhi, por aceitarem o convite em compor a banca avaliadora, pelos ensinamentos e orientações durante esses anos que serviram e servirão de inspiração para minha vida acadêmica e profissional.

Ao Laboratório Fenn, especialmente ao meu orientador de IC, Eduardo Cesar Meurer, pelas oportunidades e incentivos na pesquisa, sempre buscando ótimos resultados.

À Universidade Federal do Paraná, em especial ao campus Jandaia do Sul pela oportunidade de realização da graduação, aos professores e técnicos pelos conhecimentos compartilhados e aos servidores pelo apoio e zelo.

À todos de maneira direta ou indireta que auxiliaram na realização deste trabalho.

## Elaboração e caracterização de filmes ativos de amido de mandioca com nanocelulose incorporados de extrato vegetal

Beatriz Santos Rocha; Leomara Floriano Ribeiro; Luana Carolina Bosmuler Züge.

### RESUMO

Os filmes biodegradáveis feitos de polímeros naturais, como o amido, são promissores devido ao seu potencial para produzir materiais sustentáveis. O amido, um polissacarídeo composto por amilose e amilopectina, é amplamente empregado como alternativa para embalagens e utensílios descartáveis, devido à sua biodegradabilidade, baixo custo e disponibilidade. Embalagens ativas são um sistema inovador que interage com o produto, ampliando suas funções. Destacam-se as embalagens antimicrobianas e antioxidantes, que liberam conservantes nos alimentos, inibindo o crescimento microbiano e retardando a oxidação. Dito isso, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver e caracterizar filmes ativos com extratos vegetais. Os filmes foram elaborados pelo método de casting e foram compostos por 6 % de amido de mandioca, 0,2% de nanocelulose e incorporados de extratos vegetais de hibisco, açafraão, erva mate e casca de jabuticaba (50%). Para a caracterização foi realizado análises de espessura, solubilidade, permeabilidade ao vapor d'água, opacidade, umidade, atividade antimicrobiana e compostos fenólicos para os filmes e extratos aquosos. Os filmes apresentaram diferentes colorações devido a adição de diferentes extratos, possuíam superfície brilhosa e aspecto homogêneo e opaco. As espessuras médias dos filmes variaram de 0,14 mm a 0,17 mm e a solubilidade foi de 18,52% a 21,82%. A opacidade dos filmes mudou de acordo com o extrato utilizado. A permeabilidade ao vapor de água variou de 0,069 a 0,101 g mm/m<sup>2</sup> d kPa, onde o menor valor foi do filme com extrato de hibisco no qual apresentou menor espessura e o teor de umidade variou de 4,78% a 5,85% sem diferença significativa entre si. O extrato que apresentou maior teor de compostos fenólicos totais foi o de casca de jabuticaba sendo ele de 16997,95 mg de AGE 100g<sup>-1</sup> de extrato. Enquanto o filme com extrato de erva mate teve o maior teor de fenólicos totais, cerca 68,66 mg de AGE 100g<sup>-1</sup> quando comparado com os demais. Quanto a atividade antimicrobiana, notou-se a formação de halos visualizados apenas em luz, para os extratos de hibisco, erva mate e casca de jabuticaba frente a *Staphylococcus aureus* assim como os extratos casca de jabuticaba e de hibisco frente a *Escherichia coli*. Para os filmes com extrato de hibisco, erva mate e casca de jabuticaba também houve atividade que atenuou o crescimento microbiano frente a *Staphylococcus aureus* e o filme com extrato de hibisco frente a *Escherichia coli*. Conclui-se que os filmes apresentaram propriedades e características de filmes ativos, contendo potencial antioxidante e antimicrobiana, capazes de contribuir para conservação das características sensoriais e nutricionais do alimento.

Palavras-chave: Validade; Compostos bioativos; Polissacarídeos; Nanomateriais; Propriedades de barreira.

## Preparation and characterization of active films based on cassava starch with nanocellulose incorporated with plant extract

Beatriz Santos Rocha; Leomara Floriano Ribeiro; Luana Carolina Bosmuler Züge.

### ABSTRACT

Biodegradable films made from natural polymers such as starch show promise due to their potential to produce sustainable materials. Starch, a polysaccharide composed of amylose and amylopectin, is widely used as an alternative for packaging and disposable utensils due to its biodegradability, low cost, and availability. Active packaging is an innovative system that interacts with the product, enhancing its functionalities. Notably, antimicrobial and antioxidant packaging is highlighted for releasing preservatives into food, inhibiting microbial growth, and delaying oxidation. With this in mind, this study aimed to develop and characterize active films incorporating plant extracts. Films were prepared using the casting method with compositions including 6% cassava starch, 0.2% nanocellulose, and plant extracts from hibiscus, turmeric, yerba mate, and jabuticaba peel (50%). Characterization involved thickness analysis, solubility, water vapor permeability, opacity, moisture content, antimicrobial activity, and phenolic compounds in both the films and aqueous extracts. The films exhibited varying colors due to different extract additions, possessing a glossy surface and homogeneous opaque appearance. Average film thickness ranged from 0.14 mm to 0.17 mm, with solubility ranging from 18.52% to 21.82%. Opacity varied with the type of extract. Water vapor permeability ranged from 0.069 to 0.101 g mm/m<sup>2</sup> d kPa, with the lowest value observed for the hibiscus extract film, which also showed lower thickness. Moisture content ranged from 4.78% to 5.85% without significant differences among samples. The jabuticaba peel extract exhibited the highest total phenolic content at 16997.95 mg AGE 100g<sup>-1</sup> extract, while the yerba mate film had the highest total phenolic content among films at approximately 68.66 mg AGE 100g<sup>-1</sup> compared to others. Antimicrobial activity was observed with halos visible under light for hibiscus, yerba mate, and jabuticaba peel extracts against *Staphylococcus aureus*, as well as for jabuticaba peel and hibiscus extracts against *Escherichia coli*. Films incorporating hibiscus, yerba mate, and jabuticaba peel extracts also showed antimicrobial activity against *Staphylococcus aureus*, and the hibiscus extract film against *Escherichia coli*. In conclusion, the films demonstrated properties and characteristics of active packaging with antioxidant and antimicrobial potential, capable of contributing to the preservation of sensory and nutritional characteristics in food products.

Keywords: *shelf-life*; Bioactive compounds; polysaccharides; Nanomaterials; Barrier properties

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIOFILMES .....	14
FIGURA 2 – EXTRATOS VEGETAIS AQUOSOS.....	18
FIGURA 3 – FILMES ELABORADOS COM DIFERENTES EXTRATOS VEGETAIS	18
FIGURA 4 – ANÁLISE DE SOLUBILIDADE.....	20
FIGURA 5 – COMPARAÇÃO VISUAL DA OPACIDADE DOS FILMES FH, FE E FA.....	21

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – ANÁLISES DE CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES COMPOSTOS POR AMIDO DE MANDIOCA, NANOCELULOSE E INCORPORADOS COM EXTRATO VEGETAL.....	19
TABELA 2 – ANÁLISE DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS DOS EXTRATOS VEGETAIS E DOS FILMES INCORPORADOS COM O MESMO.....	23
TABELA 3 – ATIVIDADE ANTIMICROBIANA DOS EXTRATOS E FILMES FRENTE AS BACTÉRIAS <i>Staphylococcus aureus</i> E <i>Escherichia coli</i> .....	24

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>13</b>
2.1 OBTENÇÃO DOS EXTRATOS .....	13
2.2 ELABORAÇÃO DOS FILMES .....	13
2.3 CARACTERIZAÇÃO .....	14
2.3.1 Espessura .....	14
2.3.2 Solubilidade em água .....	14
2.3.3 Opacidade dos filmes .....	15
2.3.4 Permeabilidade ao vapor de água.....	15
2.3.5 Teor de umidade .....	16
2.4 COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS.....	16
2.5 ATIVIDADE ANTIMICROBIANA.....	16
2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	17
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>17</b>
3.1 ELABORAÇÃO DOS FILMES .....	17
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES.....	19
3.3 COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS.....	23
3.4 ATIVIDADE ANTIMICROBIANA.....	24
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>25</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>26</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A mudança nas práticas de consumo e do estilo de vida dos consumidores, que optam por alimentos convenientes como os alimentos “prontos para consumo”, apresenta um desafio para a indústria de embalagens de alimentos. As embalagens de alimentos têm entre as suas funções a contenção, preservação dos produtos contra contaminações externas garantindo seu frescor e qualidade (ANDRADE et al., 2023).

Existe uma busca constante por novas tecnologias para melhorar a segurança, qualidade e prazo de validade de alimentos frescos e minimamente processados, atendendo demanda dos consumidores por valor nutritivo e sensorial desses produtos (DE CORATO et al., 2020). Portanto há uma necessidade crescente de desenvolver embalagens aprimoradas que abordem essa questão de maneira atrativa, segura e saudável, o que tem impulsionado o surgimento de embalagens ativas de alimentos. Desse modo, o objetivo das embalagens ativas é atender a demanda do consumidor por embalagens naturais, recicláveis e biodegradáveis (KUMAR et al., 2018).

Os filmes biodegradáveis podem ser elaborados a partir de polímeros naturais como polissacarídeos (amido, alginatos, carragenina, entre outros), proteínas (caseína, gelatina e glúten de trigo) e lipídeos (óleos, gorduras, ceras etc.) ou combinação destes resultando em revestimentos aplicados como sistemas ou emulsões bicamada. O amido é considerado um biopolímero com maior potencial para a produção de materiais biodegradáveis (ROSAS et al., 2023; BARBOZA et al., 2022).

O amido é um polissacarídeo composto por cadeias de amilose e amilopectina. A amilose é constituída por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4, originando uma cadeia linear. Já a amilopectina é formada por unidades de glicose unidas em  $\alpha$ -1,4 e  $\alpha$ -1,6, formando uma estrutura ramificada. As proporções em que essas estruturas se apresentam distingue entre as diferentes fontes vegetais, entre variedades de uma mesma espécie e de acordo com o grau de maturação da planta (DENARDIN et al., 2009).

O amido vem sendo utilizado como material termoplástico em aplicações como de embalagens ou objetos descartáveis, tornando-se uma alternativa viável

para este fim devido sua biodegradabilidade, baixo custo e disponibilidade (CORRADINI et al., 2005).

O uso comercial de filmes elaborados a partir de matrizes biodegradáveis, tem sido limitado por causa de problemas relacionados às propriedades mecânicas geralmente pobres e fraca barreira à umidade, quando comparados aos polímeros sintéticos. Isso se dá devido a interações intensas entre a amilose e amilopectina gerando filmes rígidos e quebradiços. Portanto a utilização de agentes plastificantes ajuda a interromper a formação de dupla hélice da amilose com fragmentos da amilopectina, o que reduz a interação entre elas e confere maior flexibilidade ao filme (SOUZA et al., 2012; ZHANG et al., 2006).

O glicerol é considerado um plastificante mais efetivo quanto a propriedades mecânicas, ele diminui o número pontes de hidrogênio entre as cadeias do polímero e interfere no espaço molecular. No entanto a barreira à vapor de água dos filmes é reduzida com a adição do glicerol. Além disso, a incorporação de nanomateriais possibilita a obtenção de filmes melhores em termos de flexibilidade, durabilidade, estabilidade e propriedade de barreiras (MATTA et al., 2011; CHAUDRY et al., 2011).

Dentre os nanomateriais a celulose tem sido bastante empregada na elaboração de embalagens por possuir boa compatibilidade química com a matriz polimérica. Devido à superfície hidrofílica da celulose, interações entre nano partículas celulósicas e matrizes hidrofílicas são satisfatórias, o que promove melhores propriedades mecânicas (ROSAS et al., 2023).

Embalagens ativas são um sistema inovador que favorece a interação entre os materiais da embalagem e o produto, estendendo suas funcionalidades. Dentre essa categoria, destacam-se as embalagens ativas antimicrobianas e antioxidantes, que liberam compostos com ações conservantes na superfície dos alimentos embalados, que irão proporcionar a inibição do crescimento microbológico do meio e inibição ou retardamento do processo oxidativo (SILVA et al., 2021).

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver filmes ativos compostos por amido de mandioca, nanocelulose e incorporados com extratos aquosos de hibisco, açafrão, erva mate e casca de jaboticaba. Além disso, caracterizá-los quanto a espessura, solubilidade, opacidade, permeabilidade ao vapor de água, bem como avaliar o teor de compostos fenólicos e atividade antimicrobiana.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

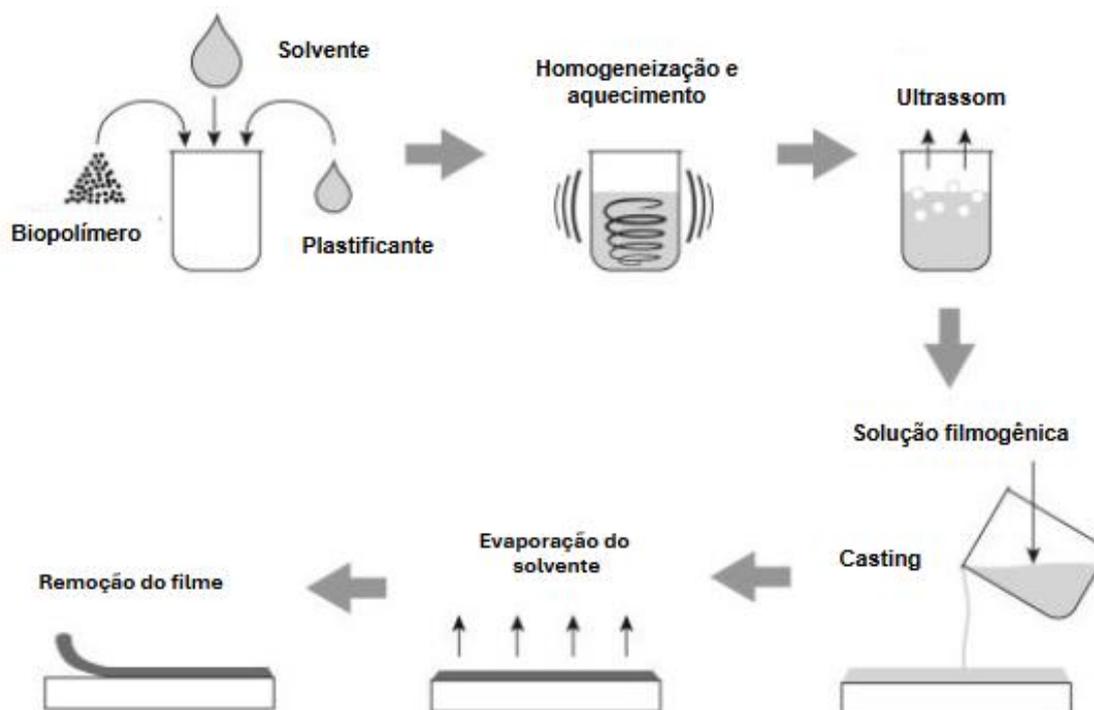
### 2.1 OBTENÇÃO DOS EXTRATOS

Foram elaborados extratos aquosos a partir de quatro materiais diferentes. Utilizou-se açafraão (A), hibisco (H), erva mate (E) adquiridos no comércio local de Jandaia do Sul/PR e casca de jabuticaba (CJ) previamente sanitizada e secas em estufa com circulação de ar até massa constante. Em frascos erlenmeyer pesou-se 2 g de cada material e adicionou-se 50 mL de água destilada, em seguida foram colocados em agitação a 150 rpm durante 1 hora, à temperatura ambiente. Por fim os extratos foram filtrados para posterior utilização nos filmes

### 2.2 ELABORAÇÃO DOS FILMES

Os filmes foram elaborados por *casting*, segundo a metodologia proposta por Machado et al. (2012), com adaptações. Inicialmente, foi preparada uma solução filmogênica, previamente testada, composta por 6% de amido (adquirido no comércio local de Jandaia do Sul), 1,5% de glicerol, 0,2% de solução de nanocelulose 2% e 50% de extrato aquoso. A solução foi aquecida até a temperatura de gelatinização do amido, 70°C, sob agitação constante. Em seguida as soluções foram submetidas ao banho ultrassônico à 23 °C e frequência X por 30 minutos, visando reduzir a presença de bolhas no meio. Por fim, foram transferidas 15,5 g de cada solução para placas de polietileno de 90 mm de diâmetro e secas a 40 °C durante 16 horas em BOD, conforme apresentado na FIGURA 1. Após a secagem, os filmes foram retirados da placa e armazenados em frascos com 60% de UR à temperatura ambiente para análises

FIGURA 1 – PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIOFILMES



FONTE: Adaptado de Sánchez (2009).

## 2.3 CARACTERIZAÇÃO

### 2.3.1 Espessura

A espessura dos filmes foi avaliada através da espessura média, resultante de 15 medições em posições aleatórias, por meio de paquímetro digital MTX.

### 2.3.2 Solubilidade em água

A solubilidade dos filmes em água foi determinada segundo o método descrito por Gontard (1992), com modificação. Inicialmente os filmes foram cortados em pedaços de aproximadamente 2 cm<sup>2</sup> e deixados em um dessecador por 24 horas para remover a umidade. Após esse período os materiais foram pesados em balança analítica, e em seguida adicionados a um erlenmeyer contendo 50 mL de água destilada. O frasco foi então agitado à 100 rpm durante 24 horas em um agitador orbital (Tecnal, TE-4200). Posteriormente, os filmes foram secos em estufa a 105 °C e pesados novamente.

### 2.3.3 Opacidade dos filmes

A opacidade foi medida de acordo com o método descrito por Kalaycioğlu et al. (2017), em espectrofotômetro UV-vis (Drawell, EEQ9-111.UV-B) no comprimento de onda de 600 nm. Os filmes foram cortados em pedaços retangulares e colocados dentro da cubeta. A opacidade dos filmes foi calculada utilizando a equação (1) e os resultados foram expressos em  $\text{mm}^{-1}$ .

$$\text{Opacidade} = \frac{A_{600}}{d} \quad (1)$$

Onde  $A_{600}$  é a absorvância a 600 nm e  $d$  é a espessura do filme.

### 2.3.4 Permeabilidade ao vapor de água

A permeabilidade ao vapor de água dos filmes foi determinada pelo método gravimétrico dessecante de acordo com a norma ASTM E96 (2000). Utilizou-se 1 g cloreto de cálcio anidro para preencher o fundo de um béquer. Os filmes foram cortados com aproximadamente 4 cm de diâmetro e com o auxílio de um elástico, foi fixado ao béquer anteriormente preparado. Esse sistema foi montado assumindo uma umidade relativa de 0%.

Em seguida, o sistema foi armazenado em pote hermético à temperatura ambiente. Dentro dele continha um béquer com solução saturada de NaCl, estabelecendo assim uma umidade relativa de 75%. O sistema com o filme foi pesado em balança analítica a cada 12 horas ao longo de um período de 7 dias. Os valores de taxa de transferência de vapor de água (TTVA) e permeabilidade ao vapor de água (PVA) foram dados através das equações (2) e (3).

$$TTVA = \frac{w}{A} t \quad (2)$$

$$PVA = \frac{TTVA d}{p (UR_1 - UR_2)} \quad (3)$$

Onde  $w$  é a massa ganha,  $t$  é o tempo em dias,  $A$  é a área exposta do filme,  $d$  é a espessura do filme,  $p$  é a pressão de saturação do vapor de água (3,17 kPa a 25 °C),  $UR_1$  é a umidade relativa no pote hermético fora do béquer e  $UR_2$  é a umidade relativa dentro do béquer.

### 2.3.5 Teor de umidade

A análise de teor de umidade dos filmes foi realizada em triplicata por termogravimétrica, através da balança determinadora de umidade (160G i-Thermo 163L).

## 2.4 COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS

Os compostos fenólicos totais (CFT) dos filmes e extratos aquosos foram determinados pelo método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu descrito por Singleton e Rossi (1965), com modificações. Previamente foi realizada a extração dos compostos dos filmes, no qual em tubos de ensaio pesou-se em torno de 0,5 g de cada filme, adicionou-se 5 mL de álcool etílico e por fim, foram agitados em vortex durante 5 minutos. Para os extratos aquosos A, E, H e CJ foram realizadas diluições de 1:1, 1:250, 1:25 e 1:125, respectivamente. Posteriormente alíquotas de 250  $\mu$ L de cada extrato foram transferidas para tubos de ensaio, em seguida adicionou-se 250  $\mu$ L do reagente Folin-Ciocalteu (Dinâmica), 250  $\mu$ L de solução de carbonato de sódio a 15%, 4 mL de água e por fim foram agitados em vortex. Após 1 hora, foi determinada a absorbância a 720 nm em espectrofotômetro UV-vis (Drawell, EEQ9-111.UV-B). O teor de CFT de cada amostra foi quantificado por curvas de calibração externa, e os resultados foram expressos em mg de ácido gálico equivalente (AGE) por 100 g.

## 2.5 ATIVIDADE ANTIMICROBIANA

A atividade antimicrobiana das amostras foi realizada em triplicata pelo método de difusão em disco conforme descrito por Ostrosky et al. (2008) e os microrganismos utilizados foi *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 e *Escherichia coli* ATCC 25922. Inicialmente as bactérias foram reativadas em tubos contendo caldo

BHI (Brain Heart Infusion) e incubadas a 35 °C por 24 horas. Após esse processo, a suspensão bacteriana foi diluída em água peptonada a 0,9% e foi comparada a turbidez do tubo com o padrão 0,5 da escala de McFarland correspondente a  $10^8$  UFC/mL. Placas de Petri contendo Ágar Mueller Hinton foram adicionadas de 100 µL de suspensão bacteriana e semeadas com alça de Drigalski. Os filmes e papel filtro foram cortados em formato de discos com tamanho de 6 mm de diâmetro e colocados na placa, no qual os discos de papel filtro receberam 10 µL de extrato aquoso. Por fim, as placas foram incubadas a 35 °C por 24 horas, posteriormente observou-se a formação de halo de inibição e mediu-se com paquímetro digital.

## 2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

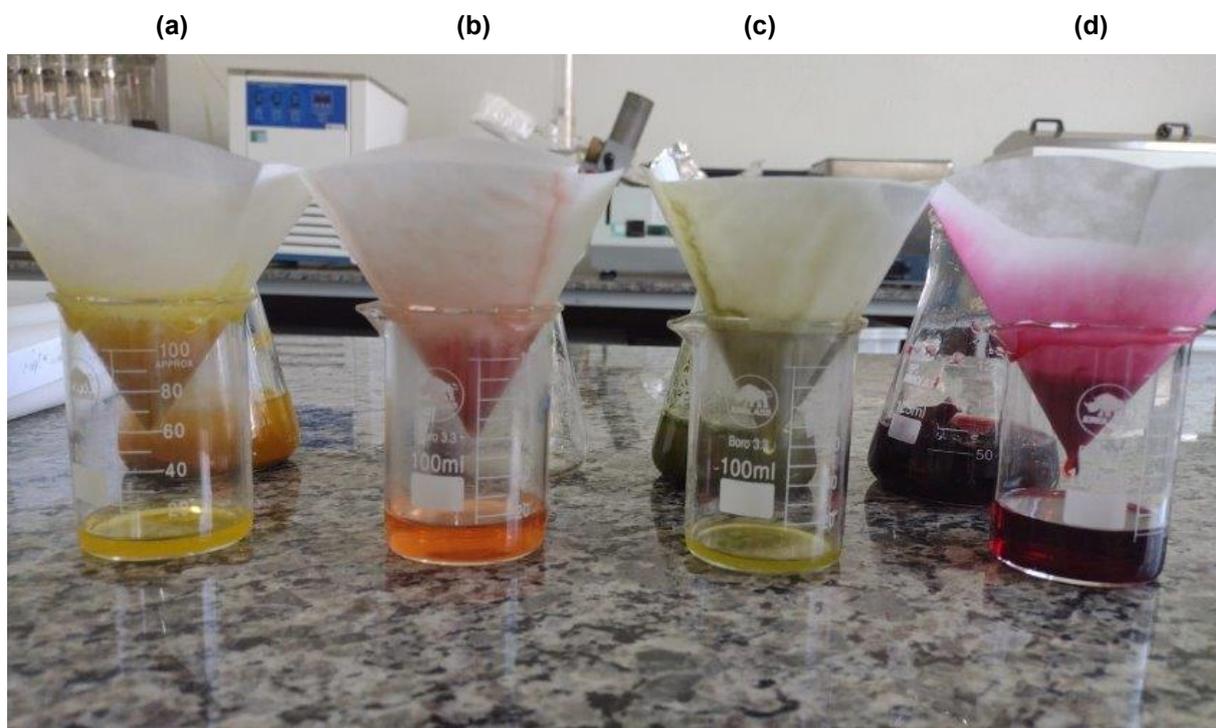
Os experimentos foram realizados em triplicata. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com um nível de significância de 5% utilizando o teste de Tukey para análise de diferença significativa entre as médias pelo software STATISTICA versão 7.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 ELABORAÇÃO DOS FILMES

Foram elaborados filmes de diferentes colorações a partir da adição de diferentes extratos vegetais (FIGURA 2). Os filmes apresentaram-se com a superfície brilhosa e aspecto homogêneo e opaco. Os filmes possuíam 90 mm de diâmetro e apresentaram facilidade na remoção da placa de Petri, porém durante este processo alguns tiveram suas bordas quebradas como pode se observar na FIGURA 3.

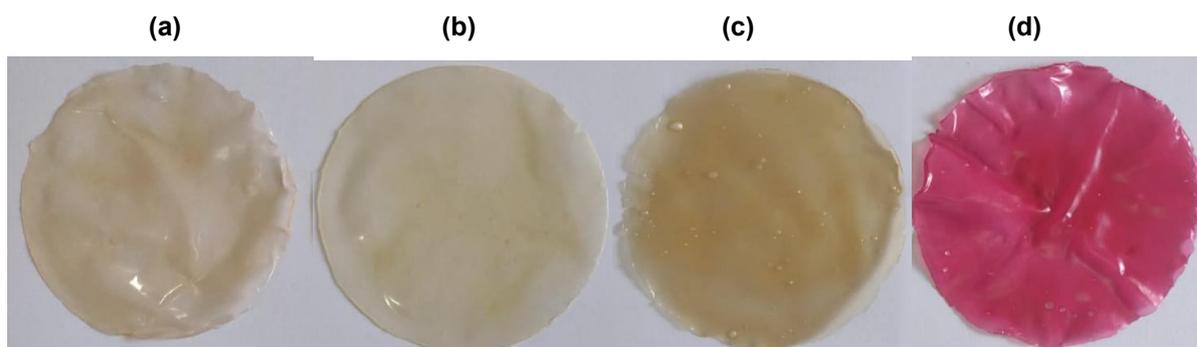
FIGURA 2 – EXTRATOS VEGETAIS AQUOSOS



LEGENDA: **(a)** - Extrato de açafrão; **(b)** - Extrato de casca de jaboticaba; **(c)** - Extrato de erva mate; **(d)** - Extrato de hibisco.

FONTE: A autora (2024)

FIGURA 3 – FILMES ELABORADOS COM DIFERENTES EXTRATOS VEGETAIS



LEGENDA: **(a)** - FCJ (Filme de amido com nanocelulose incorporado com extrato de casca de jaboticaba); **(b)** - FA (Filme de amido com nanocelulose incorporado com extrato de açafrão); **(c)** - FE (Filme de amido com nanocelulose incorporado com extrato de erva mate); **(d)** - FH (Filme de amido com nanocelulose incorporado com extrato de hibisco)

FONTE: A autora (2024).

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

Os filmes de amido de mandioca com nanocelulose incorporados com diferentes extratos vegetais foram analisados quanto a espessura, solubilidade, opacidade, permeabilidade ao vapor de água, umidade, compostos fenólicos e atividade antibacteriana. Os resultados das análises de caracterização físicas e de propriedades de barreira estão expressos na TABELA 1.

TABELA 1 - ANÁLISES DE CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES COMPOSTOS POR AMIDO DE MANDIOCA, NANOCELULOSE E INCORPORADOS COM EXTRATO VEGETAL

Propriedades	Filme			
	FH	FA	FE	FCJ
<b>Espessura (mm)</b>	0,14±0,03 <sup>b</sup>	0,15±0,04 <sup>ab</sup>	0,16±0,04 <sup>a</sup>	0,17±0,03 <sup>a</sup>
<b>Solubilidade (%)</b>	21,82±0,35 <sup>a</sup>	18,52±1,95 <sup>a</sup>	18,92±1,26 <sup>a</sup>	18,79±1,07 <sup>a</sup>
<b>Opacidade (mm<sup>-1</sup>)</b>	4,12±0,26 <sup>a</sup>	3,19±0,24 <sup>b</sup>	2,97±0,10 <sup>b</sup>	2,48±0,06 <sup>c</sup>
<b>PVA (g mm/m<sup>2</sup> d kPa)</b>	0,069±0,00 <sup>b</sup>	0,101±0,01 <sup>a</sup>	0,088±0,01 <sup>a</sup>	0,092±0,01 <sup>a</sup>
<b>Umidade (%)</b>	4,78±1,27 <sup>a</sup>	4,93±0,73 <sup>a</sup>	5,85±0,68 <sup>a</sup>	5,02±1,20 <sup>a</sup>

Médias seguidas de letras iguais na mesma linha não diferem entre si ao nível de  $p \leq 0,05$ , pelo Teste de Tukey. **FH** - Filme de amido com nanocelulose incorporado com extrato de hibisco; **FA** - Filme de amido com nanocelulose incorporado com extrato de açafrão; **FE** - Filme de amido com nanocelulose incorporado com extrato de erva mate; **FCJ** - Filme de amido com nanocelulose incorporado com extrato de casca de jabuticaba.

Fonte: A autora (2024).

A espessura dos filmes é definida como a distância perpendicular entre duas superfícies principais do material. Conhecendo a espessura de um material e sua natureza química, é possível obter informações quanto a resistência mecânica e as propriedades de barreira ao vapor de água e aos gases do material, bem como estimar a vida útil de alguns alimentos acondicionados neste material e seu desempenho mecânico da embalagem (OLIVEIRA et al., 1996). Segundo HENRIQUE et al. (2008) a espessura é uma característica que influencia as propriedades dos filmes e quando controlada possibilita a uniformidade do material e a validade das comparações entre suas propriedades.

A espessura dos filmes variou de 0,14 mm (FH) a 0,17 mm (FCJ), onde FH apresentou diferença estatística de FE e FCJ, tal qual pode ser explicada pelo método utilizado para a produção dos filmes. No método *casting* a espessura média é controlada a partir da massa de suspensão derramada na placa, porém pode

haver variações locais durante o processo pela dificuldade de espalhamento. O processo de secagem, também pode ter influência na espessura final do filme.

Após o término da análise de solubilidade foi possível observar que os filmes foram mantidos íntegros, mesmo ao absorver a água e durante o processo perderam sua coloração para a água, como pode-se observar na FIGURA 4. A solubilidade variou de 18,52% a 21,82%, porém, não foi diferente estatisticamente entre os filmes. Esses valores foram semelhantes aos encontrados por MATTA et al. (2011) em filmes formados de 5% de amido, 0,1% de goma e 20% de glicerol (18,39%) e superior ao encontrado por MACHADO et al. (2014) para filmes compostos de 6% de amido, 1,5% de glicerol e 0,3 de nanocelulose (12,05%). Segundo MATTA et al. (2011), a utilização de glicerol tem grande influência sobre solubilidade de filmes de amido devido a sua natureza hidrofílica que interage com a matriz do filme aumentando o espaço livre entre as cadeias, facilitando a entrada de água no filme e aumentando a solubilidade.

FIGURA 4 – ANÁLISE DE SOLUBILIDADE



FONTE: A autora (2024).

A solubilidade dos filmes em água é bastante relevante visto que podem atuar na proteção de alimentos em que a atividade de água é alta, quando o alimento tem contato com a água durante o cozimento e para filmes comestíveis

(MACHADO et al., 2014). A total solubilização em água poder ser favorável como nos produtos semiprontos destinados ao preparo sob cocção (FAKHOURI et al., 2007).

Os filmes diferiram estatisticamente, porém FA e FE não apresentaram diferença significativa entre si para a opacidade. O maior valor de opacidade foi do filme FH sendo ele de  $4,12 \text{ mm}^{-1}$ , no qual é possível notar uma cor rosa intensa. Já, FA e FE apresentaram cores amareladas e semelhantes, porém nota-se uma maior transparência em FE (FIGURA 5).

Propriedades de barreira como a opacidade é um fator importante visto que alimentos embalados com filmes podem sofrer oxidação devido a exposição à luz o que resulta em perdas de nutrientes, coloração e sabor. Entretanto uma alta opacidade pode levar a visão turva do produto afetando seu o julgamento visual (LUI et al., 2017; ZHANG et al., 2021).

FIGURA 5 - COMPARAÇÃO VISUAL DA OPACIDADE DOS FILMES FH, FE e FA.



LEGENDA: **(a)** - FH (Filme de amido com nanocelulose incorporado com extrato de hibisco); **(b)** - FE (Filme de amido com nanocelulose incorporado com extrato de erva mate); **(c)** - FA (Filme de amido com nanocelulose incorporado com extrato de açafreão).

FONTE: A autora (2024).

Em estudos realizados por ALMEIDA et al. (2013) utilizando celulose bacteriana e LUCENA et al. (2017) utilizando xilana foi evidenciado que a opacidade está diretamente ligada com a quantidade de celulose incorporada aos filmes, ou seja, quanto mais celulose é adicionada ao filme mais opaco ele se torna, entre esse

e outros fatores, como a morfologia e estrutura química dos componentes utilizados. O presente trabalho utilizou a mesma quantidade de amido e nanocelulose para todos os filmes produzidos, logo, a diferença de opacidade em cada filme se deu pelo extrato utilizado.

A permeabilidade ao vapor de água dos filmes variou de 0,069 a 0,101 g mm/m<sup>2</sup> d kPa e apenas FH diferiu estatisticamente. Essa diferença pode ser explicada pela espessura do filme no qual para este a foi menor entre eles. FARIAS et al. (2012), para filmes elaborados com amido de mandioca, glicerol e polpa demonstrou em seus experimentos que o aumento, de até 60%, da concentração de polpa aumenta a espessura que conseqüentemente provoca a diminuição da PVA. Foi constatado por SOBRAL (2000) em filmes elaborados com gelatina que a força de perfuração, a diferença de cor e a opacidade dos filmes aumentam linearmente com a espessura do material. A influência da diminuição da PVA em relação ao aumento da espessura também foi verificada por FAKHOURI et al. (2003) em filmes de gelatina e triacetina.

Em estudo realizado por ALMEIDA (2020), em filmes elaborados com amido de milho com reforço de nanocelulose, foi evidenciado que filmes com maiores adições de nanocelulose tiveram redução significativa da permeabilidade ao vapor de água em relação aos filmes produzidos sem o nanocompostos, o que indica que a utilização de nanocelulose melhora a propriedades de barreira dos filmes além se estarem relacionados com o tamanho manométrica das partículas.

Além disso, a adição dos nanocompostos provavelmente forma uma barreira para a passagem de água, resultando em um caminho mais tortuoso para a transferência da umidade (AILA-SUÁREZ et al., 2013).

Os filmes apresentaram teores de umidade que variou que 4,78% a 5,85%, sem diferença significativa entre si. TABOADA et al. (2008) aborda em seu estudo como a concentração de plastificante e a umidade influenciam na transição vítrea de filmes comestíveis, no qual foi evidenciado que o aumento da umidade do material causa um deslocamento da transição vítrea para valores menores que resultam em filmes mais flexíveis. Isso ocorre devido ao efeito plastificante da água que aumenta a mobilidade das cadeias poliméricas e diminui a força das interações intermoleculares.

### 3.3 COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS

A TABELA 2 apresenta os valores encontrados para CFT dos extratos de hibisco, açafraão, erva mate e casca jabuticaba e para os filmes a base de amido de mandioca com nanocelulose incorporados com extrato vegetal.

TABELA 2 - ANÁLISE DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS DOS EXTRATOS VEGETAIS E DOS FILMES INCORPORADOS COM O MESMO

Compostos fenólicos totais (mg de AGE 100g <sup>-1</sup> )			
EH	EA	EE	ECJ
10366,80±65,20 <sup>b</sup>	176,90±5,09 <sup>d</sup>	5204,92±74,45 <sup>c</sup>	16997,95±181,12 <sup>a</sup>
FH	FA	FE	FCJ
52,10±0,58 <sup>b</sup>	50,38±2,09 <sup>b</sup>	68,66±4,06 <sup>a</sup>	39,64±4,52 <sup>b</sup>

Médias seguidas de letras iguais na mesma linha não diferem entre si ao nível de  $p \leq 0,05$ , pelo Teste de Tukey. **EH**- Extrato aquoso de hibisco; **EA** – Extrato aquoso de açafraão; **EE** – Extrato aquoso de erva mate; **ECJ** – Extrato aquoso de casca de jabuticaba; **FH** - Filme de amido com nanocelulose incorporado com extrato de hibisco; **FA** - Filme de amido com nanocelulose incorporado com extrato de açafraão; **FE** - Filme de amido com nanocelulose incorporado com extrato de erva mate; **FCJ** - Filme de amido com nanocelulose incorporado com extrato de casca de jabuticaba.

Fonte: A autora (2024).

Quando a CFT, todos os extratos apresentaram diferença significativa entre si, já nos filmes apenas o filme FE se diferiu estatisticamente. Os maiores valores de CFT encontrados para os extratos foi de EE e ECJ. Em contrapartida, os filmes preparados com esses extratos apresentaram uma retenção muito menor de CFT. Tal diferença no conteúdo entre os extratos e os filmes pode ser atribuída a diversos fatores, como a interação dos CFT com os componentes do filme, a perda desses compostos durante o processo de aquecimento e secagem da solução filmogênica e sua degradação em condições de alta temperatura.

A erva mate teve um alto valor para CFT no extrato e demonstrou um valor relativamente maior no filme em comparação aos outros, isso sugere que os CFT da erva mate são mais estáveis ou que possuem maior afinidade com a matriz de amido.

Os valores encontrados para os teores de compostos fenólicos dos extratos e dos filmes se apresentaram acima do encontrado na literatura. Oliveira et al., em seu estudo de compostos fenólicos para a casca de jabuticaba encontrou para o extrato aquoso um teor de 97 mg 100 g<sup>-1</sup> AGE. Tal valor elevado pode-se dar devido

as diluições realizadas no momento das análises, aumentando assim o erro do experimento.

### 3.4 ATIVIDADE ANTIMICROBIANA

Os extratos vegetais e os filmes elaborados foram testados quanto a atividade antimicrobiana para *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*, no qual foi possível observar e medir os halos formados, no qual se encontram destacados na TABELA 3. Os extratos H, E e CJ apresentaram atividade antimicrobiana que atenuou o crescimento de *S. aureus*. No entanto, apenas os extratos H e CJ apresentaram atividade frente a *E. coli*. Para os filmes testados, foi possível observar também atenuações no crescimento microbiológico para o filme FH frente a *E. coli* e FH, FE e FCJ frente a *S. aureus*.

TABELA 3 – ATIVIDADE ANTIMICROBIANA DOS EXTRATOS E FILMES FRENTE AS BACTÉRIAS *Staphylococcus aureus* E *Escherichia coli*.

Extrato vegetal (g/mL)	Halo de inibição (mm)	
	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
EH	8,14	6,00
EA	0,00	0,00
EE	0,00	6,00
ECJ	9,82	6,00
Filme	Halo de inibição (mm)	
	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
FH	9,91	12,50
FA	0,00	0,00
FE	0,00	11,93
FCJ	0,00	14,61

**EH**- Extrato aquoso de hibisco; **EA** – Extrato aquoso de açafrão; **EE** – Extrato aquoso de erva mate; **ECJ** – Extrato aquoso de casca de jabuticaba; **FH** - Filme de amido com nanocelulose incorporado com extrato de hibisco; **FA** - Filme de amido com nanocelulose incorporado com extrato de açafrão; **FE** - Filme de amido com nanocelulose incorporado com extrato de erva mate; **FCJ** - Filme de amido com nanocelulose incorporado com extrato de casca de jabuticaba.

Fonte: A autora (2024).

A ausência de atividade antimicrobiana do extrato e filme de açafrão pode ser explicada pelo fato desse extrato ter apresentado menor conteúdo de compostos fenólicos em comparação com os outros, sendo necessário talvez aplicar uma maior quantidade para favorecer a ação antimicrobiana.

Os compostos fenólicos têm sido amplamente estudados devido suas propriedades antimicrobianas contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas. CUSHINIE et. al, (2005), em seu estudo discute sobre os mecanismos pelos quais

os compostos fenólicos, em especial os flavonoides, atuam na ação inibitória de microrganismos. Isso inclui danos às membranas celulares, nos quais os compostos fenólicos interagem com os lipídeos das membranas bacterianas, causando danos estruturais e aumentando a permeabilidade, causando à perda macromoléculas essenciais. Além disso, esses compostos podem inibir de enzimas essenciais envolvidas em processos metabólicos fundamentais para sobrevivência bacteriana.

No estudo realizado por DEGÁSPARI et al. (2005) foi demonstrado que cepas de *S. aureus* e *B. cereus* apresentaram-se sensíveis à ação antimicrobiana do extrato alcoólico do fruto da aroeira. Já o extrato aquoso do mesmo material não apresentou poder inibitório, e o autor salienta que talvez a quantidade aplicada não tenha sido suficiente para promover a ação inibitória.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os filmes biodegradáveis produzidos à base de amido, enriquecidos com extratos vegetais de hibisco, açafraão, erva mate e casca de jabuticaba, entre outros, representam uma inovação promissora na área de embalagens sustentáveis para alimentos. O presente estudo demonstrou que a adição desses extratos não apenas conferiu características distintas aos filmes, como coloração variável e propriedades de barreira, mas também proporcionou benefícios funcionais, como potencial antioxidante e antimicrobiana. A análise realizada quantos as propriedades físico-químicas dos filmes, incluindo espessura, solubilidade, permeabilidade ao vapor d'água e conteúdo de umidade, revelou um desempenho adequado para aplicações práticas na conservação de alimentos com alta atividade de água.

Além disso a atividade antimicrobiana observada contra patógenos alimentares como *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli* reforça a eficácia potencial desses filmes na proteção contra contaminações microbiológicas, contribuindo assim para a segurança alimentar.

Sendo assim, os resultados deste estudo indicam que os filmes biodegradáveis formulados podem ser uma alternativa sustentável aos plásticos convencionais, além de oferecem vantagens adicionais em termos de funcionalidade e segurança, podem ser promissores para futuras aplicações industriais no setor de embalagens alimentícias.

## REFERÊNCIAS

- AILA-SUÁREZ, Selene; PALMA-RODRÍGUEZ, Heidi M.; RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, Adriana I.; HERNÁNDEZ-URIBE, Juan P.; BELLO-PÉREZ, Luis A.; VARGAS-TORRES, Apolonio. Characterization of films made with chayote tuber and potato starches blending with cellulose nanoparticles. **Carbohydrate Polymers**, [S.L.], v. 98, n. 1, p. 102-107, out. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.05.022>.
- ALMEIDA, Denise M.; PRESTES, Rosilene A.; PINHEIRO, Luís A.; WOICIECHOWSKI, Adenise L.; WOSIACKI, Gilvan. Propriedades Físicas, Químicas e de Barreira em Filme Formados por Blenda de Celulose Bacteriana e Fécula de Batata. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, [S.L.], v. 23, n. 4, p. 538-546, 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.4322/polimeros.2013.038>.
- ALMEIDA, Vanessa Soltes de et al. Produção e caracterização de filmes biodegradáveis de amido de milho regular e ceroso reforçados com nanocelulose de eucalipto. 2020.
- ANDRADE, M. F. DE et al. Active antimicrobial extruded films for mozzarella cheese from poly (butylene adipate co-terephthalate) (PBAT) and orange oil. **Polímeros**, v. 33, p. e20230017, 11 ago. 2023.
- ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard methods of water vapor transmission of materials. Método: E00996-00. In: **ASTM annual book of ASTM standards**, p. 907-914, 2000.
- BARBOZA, Henriqueta Talita Guimarães et al. Filmes e revestimentos comestíveis: conceito, aplicação e uso na pós-colheita de frutas, legumes e vegetais. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. e9911931418-e9911931418, 2022.
- CHAUDHRY, Qasim; CASTLE, Laurence. Food applications of nanotechnologies: an overview of opportunities and challenges for developing countries. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 22, n. 11, p. 595-603, nov. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2011.01.001>.
- CORATO, Ugo de. Improving the shelf-life and quality of fresh and minimally-processed fruits and vegetables for a modern food industry: a comprehensive critical review from the traditional technologies into the most promising advancements. **Critical Reviews In Food Science And Nutrition**, [S.L.], v. 60, n. 6, p. 940-975, 7 jan. 2019. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2018.1553025>.
- CORRADINI, Elisângela; LOTTI, Celso; MEDEIROS, Eliton S. de; CARVALHO, Antonio J. F.; CURVELO, Antonio A. S.; MATTOSO, Luiz H. C.. Estudo comparativo de amidos termoplásticos derivados do milho com diferentes teores de amilose. **Polímeros**, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 268-273, nov. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-14282005000400011>.

CUSHNIE, T.P. Tim; LAMB, Andrew J.. Antimicrobial activity of flavonoids. **International Journal Of Antimicrobial Agents**, [S.L.], v. 26, n. 5, p. 343-356, nov. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2005.09.002>.

DEGÁSPARI, Cláudia Helena; WASZCZYNSKYJ, Nina; PRADO, Maria Rosa Machado. Atividade antimicrobiana de *Schinus terebenthifolius* Raddi. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.L.], v. 29, n. 3, p. 617-622, jun. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542005000300016>.

DENARDIN, Cristiane Casagrande; SILVA, Leila Picolli da. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 39, n. 3, p. 945-954, 9 jan. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782009005000003>.

FAKHOURI, F. M.; BATISTA, J. A.; GROSSO, C. R. F. Desenvolvimento e caracterização de filmes comestíveis de gelatina, triacetina e ácidos graxos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 6, n. 2, p. 301-308, 2003.

FAKHOURI, Farayde Matta; FONTES, Luciana Cristina Brigatto; GONÇALVES, Priscila Vieira de Macedo; MILANEZ, Cibele Rufato; STEEL, Caroline Joy; COLLARES-QUEIROZ, Fernanda Paula. Filmes e coberturas comestíveis compostas à base de amidos nativos e gelatina na conservação e aceitação sensorial de uvas Crimson. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [S.L.], v. 27, n. 2, p. 369-375, jun. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20612007000200027>.

FARIAS, Mônica Guimarães; FAKHOURI, Farayde Matta; CARVALHO, Carlos Wanderlei Piler de; ASCHERI, José Luis Ramírez. Caracterização físico-química de filmes comestíveis de amido adicionado de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.). **Química Nova**, [S.L.], v. 35, n. 3, p. 546-552, 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422012000300020>.

HENRIQUE, Celina Maria; CEREDA, Marney Pascoli; SARMENTO, Silene Bruder Silveira. Características físicas de filmes biodegradáveis produzidos a partir de amidos modificados de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [S.L.], v. 28, n. 1, p. 231-240, mar. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20612008000100033>.

KALAYÇđOđLU, Zeynep; TORLAK, Emrah; AKđN-EVINGđR, Gülşen; ÖZEN, İlhan; ERİM, F. Bedia. Antimicrobial and physical properties of chitosan films incorporated with turmeric extract. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 101, p. 882-888, ago. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.174>.

KUMAR, Deepak; KUMAR, Pramendra; PANDEY, Jyoti. Binary grafted chitosan film: synthesis, characterization, antibacterial activity and prospects for food packaging. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 115, p. 341-348, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.04.084>.

LIU, Jun; LIU, Shuang; WU, Qingqing; GU, Yanyang; KAN, Juan; JIN, Changhai. Effect of protocatechuic acid incorporation on the physical, mechanical, structural and antioxidant properties of chitosan film. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 73, p. 90-100, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.06.035>.

LUCENA, Camilla Aquino Azevedo de; COSTA, Silvana Cartaxo da; ELEAMEN, Giovanna Rodrigues de Araújo; MENDONÇA, Elisângela Afonso de Moura; OLIVEIRA, Elquio Eleamen. Desenvolvimento de biofilmes à base de xilana e xilana/gelatina para produção de embalagens biodegradáveis. **Polímeros**, [S.L.], v. 27, n. , p. 35-41, 16 jan. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0104-1428.2223>.

MACHADO, Bruna Aparecida Souza; NUNES, Itaciara Larroza; PEREIRA, Fabiano Vargas; DRUZIAN, Janice Izabel. Desenvolvimento e avaliação da eficácia de filmes biodegradáveis de amido de mandioca com nanocelulose como reforço e com extrato de erva-mate como aditivo antioxidante. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 42, n. 11, p. 2085-2091, nov. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782012001100028>.

MACHADO, Bruna AS et al. Obtenção de nanocelulose da fibra de coco verde e incorporação em filmes biodegradáveis de amido plastificados com glicerol. **Química Nova**, v. 37, p. 1275-1282, 2014.

MATTA JUNIOR, Manoel D. da; SARMENTO, Silene B. S.; SARANTÓPOULOS, Claire I. G. L.; ZOCCHI, Silvio S.. Propriedades de barreira e solubilidade de filmes de amido de ervilha associado com goma xantana e glicerol. **Polímeros**, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 67-72, 11 fev. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-14282011005000011>.

OSTROSKY, Elissa A.; MIZUMOTO, Miriam K.; LIMA, Marcos E. L.; KANEKO, Telma M.; NISHIKAWA, Suzana O.; FREITAS, Beatriz R.. Métodos para avaliação da atividade antimicrobiana e determinação da Concentração Mínima Inibitória (CMI) de plantas medicinais. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, [S.L.], v. 18, n. 2, p. 301-307, jun. 2008. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-695x2008000200026>.

ROSAS, L. S; et al. Filmes de amido de mandioca reforçados com nanocelulose e adição de óleo de buriti (*Mauritia Flexuosa* L.). **Revista ION**, v. 36, n. 3, 2023.  
SILVA, Ivo Diego de Lima et al. Avaliação das potencialidades dos extratos vegetais de jurema preta (*Mimosa tenuiflora*) e cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) para uso em embalagens ativas antimicrobianas e antioxidantes. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 26, p. e12924, 2021.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, Joseph A.. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. **American Journal Of Enology And Viticulture**, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 144-158, 1965. American Society for Enology and Viticulture. <http://dx.doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>.

SOBRAL, Paulo José do Amaral. Influência da espessura de biofilmes feitos à base de proteínas miofibrilares sobre suas propriedades funcionais. **Pesquisa**

**Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 35, n. 6, p. 1251-1259, jun. 2000. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2000000600022>.

SOUZA, Carolina Oliveira de; SILVA, Luciana Tosta; DRUZIAN, Janice Izabel. Estudo comparativo da caracterização de filmes biodegradáveis de amido de mandioca contendo polpas de manga e de acerola. **Química Nova**, [S.L.], v. 35, n. 2, p. 262-267, 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422012000200006>.

TABOADA, Oscar Mendieta; CARVALHO, Rosemary A. de; SOBRAL, Paulo José do A.. Análise dinâmico-mecânica: aplicações em filmes comestíveis. **Química Nova**, [S.L.], v. 31, n. 2, p. 384-393, 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422008000200035>.

ZHANG, Wanli; ZHANG, Yiqin; CAO, Jiankang; JIANG, Weibo. Improving the performance of edible food packaging films by using nanocellulose as an additive. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 166, p. 288-296, jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.185>.

ZHANG, Y., & HAN, J. H. (2006). Mechanical and thermal characteristics of pea starch films plasticized with monosaccharides and polyols. **Journal of food science**, 71(2), E109-E118.